



TUGAS AKHIR - RE 141581

**UJI KEMAMPUAN BAKTERI *Azotobacter*
DALAM PROSES PENYISIHAN LOGAM
KROMIUM PADA TANAH TERCEMAR KROMIUM**

NALURIKA MUJI RAHAYU
3313100048

Dosen Pembimbing
Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**UJI KEMAMPUAN BAKTERI *Azotobacter*
DALAM PROSES PENYISIHAN LOGAM
KROMIUM PADA TANAH TERCEMAR KROMIUM**

NALURIKA MUJI RAHAYU
3313100048

DOSEN PEMBIMBING
Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph. D.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

ABILITY TEST OF *Azotobacter* IN CHROMIUM METAL ELIMINATION PROCESS ON CHROMIUM CONTAMINATED SOIL

NALURIKA MUJI RAHAYU
3313100048

SUPERVISOR
Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph. D.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

HALAMAN PENGESAHAN

UJI KEMAMPUAN BAKTERI *Azotobacter* DALAM PROSES PENYISIHAN LOGAM KROMIUM PADA TANAH TERCEMAR KROMIUM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NALURIKA MUJI RAHAYU

NRP. 3313100048

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Ipung Fitri Purwanti, S. T., M. T., Ph. D.
NIP. 19711114 200312 2 001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Uji Kemampuan Bakteri *Azotobacter* dalam Proses Penyisihan Logam Kromium pada Tanah Tercemar Kromium” ini dengan tepat waktu. Tugas akhir ini dibuat guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS.

Dengan selesainya tugas akhir ini, tidak lupa penulis sampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T. Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah mengajar dan membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Bapak Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D., Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph. D., dan Ibu Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T., Ph. D., selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan masukan dan bimbingannya.
3. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UJI KEMAMPUAN BAKTERI *Azotobacter* DALAM PROSES PENYISIHAN LOGAM KROMIUM PADA TANAH TERCEMAR KROMIUM

Nama Mahasiswa : Nalurika Muji Rahayu
NRP : 3313100048
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, S. T., M. T., Ph. D.

ABSTRAK

Tingginya tingkat pertumbuhan industri saat ini memiliki pengaruh yang besar terhadap produksi limbah. Salah satu limbah industri yang bersifat toksik dan karsinogenik adalah limbah yang mengandung logam kromium. Bioremediasi adalah salah satu teknik pengolahan limbah yang mengandung logam kromium yang lebih ekonomis dibandingkan teknik pengolahan lainnya. Salah satu mikroorganisme yang banyak digunakan dalam proses bioremediasi logam kromium adalah bakteri. Beberapa jenis bakteri memiliki kemampuan mempertahankan diri terhadap logam kromium dan mampu hidup dalam media terpapar kromium. Dalam penelitian ini dianalisis pengaruh penambahan bakteri *Azotobacter* terhadap efisiensi penyisihan logam kromium pada tanah tercemar kromium.

Pada penelitian ini digunakan 2 variabel, yaitu konsentrasi kromium dan penambahan bakteri *Azotobacter*. Variasi konsentrasi kromium yang digunakan (dalam mg/L) adalah 50, 75, dan 100. Variasi penambahan jumlah bakteri *Azotobacter* adalah tanpa penambahan bakteri dan dengan penambahan bakteri sebesar 15%. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan berat tanah sekitar 425 gram. Proses bioremediasi pada masing-masing reaktor uji dilakukan selama 14 hari. Analisis dilakukan pada parameter nilai total kromium, jumlah koloni bakteri, pH, suhu, dan kelembaban tanah. Nilai total kromium dianalisis sebanyak 2 kali, yaitu pada awal dan akhir proses bioremediasi dengan menggunakan AAS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase penyisihan terbesar terdapat pada reaktor uji tanpa penambahan bakteri *Azotobacter* adalah 30,99%. Adapun persentase

penyisihan terbesar pada reaktor uji dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter* adalah 22,82%. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan bakteri *Azotobacter* ke dalam reaktor uji tidak berpotensi meningkatkan persentase penyisihan logam kromium. Hal tersebut dikarenakan adanya penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih tinggi di reaktor uji dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter*. Penurunan jumlah bakteri tersebut dimungkinkan terjadi karena adanya kompetisi dalam pemenuhan nutrisi yang lebih besar dibandingkan reaktor uji tanpa penambahan bakteri *Azotobacter*.

Kata kunci: *Azotobacter*, bioremediasi, kromium, logam berat, tanah tercemar

ABILITY TEST OF *Azotobacter* IN CHROMIUM METAL ELIMINATION PROCESS ON CHROMIUM CONTAMINATED SOIL

Name of Student : Nalurika Muji Rahayu
NRP : 3313100048
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Ipung Fitri Purwanti, S. T., M. T., Ph. D.

ABSTRACT

High rate of industrial growth has a considerable influence on the production of waste. Chromium contained industrial wastewater is toxic and carcinogenic. Bioremediation is one of chromium treatment techniques that is more economical than another treatment techniques. Bacteria is one of microorganisms used in bioremediation of chromium. Bacteria have an ability to living in and defending themselves against the exposure media of certain level of chromium concentration. This study was done to analyzed effect of adding *Azotobacter* to increased the removal efficiency of chromium on chromium contaminated soil.

Concentration of chromium and addition volume of *Azotobacter* is variables in this study. Concentrations of chromium that used (mg/L) were 50, 75, and 100. Addition volumes of *Azotobacter* are 0% and 15%. This study conducted in laboratory. Weight of soil that used in each reactor is 425 grams. Bioremediation treatment in each reactor conducted for 14 days. Total chromium, number of bacteria colonies, pH, temperature, and soil moisture were than analyzed. Total chromium analyzed 2 times, they are at the beginning and end of bioremediation treatment. Total chromium analyzed with AAS.

This study showed that the highest removal efficiency of chromium in reactor that was added 0% *Azotobacter* is 30.99%. The highest removal efficiency of chromium in reactor that was added 15% *Azotobacter* is 22,82%. It can be concluded that addition of *Azotobacter* into chromium contaminated soil have not increased removal efficiency of chromium. This is due to the number of bacteria in reactor that was added 0% *Azotobacter*

higher than the number of bacteria in reactor that was 15% *Azotobacter*. These could be due to higher competition on nutrition fulfillment compared to reactor that was added 0% *Azotobacter*.

Keywords: *Azotobacter*, bioremediation, chromium, contaminated soil, heavy metal.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Logam Berat Kromium	5
2.2 Pemanfaatan Logam Berat Kromium.....	6
2.3 Pencemaran Kromium.....	7
2.4 Penyisihan Logam Kromium.....	8
2.5 Mekanisme Biosorpsi	9
2.6 Bioaugmentasi	10
2.7 Bakteri <i>Azotobacter</i>	10
2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganisme	12
2.9 Pertumbuhan Mikroorganisme.....	13
2.10 Penelitian Terdahulu	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3.1 Kerangka Penelitian	17
3.2 Ide Tugas Akhir.....	17
3.3 Studi Literatur.....	19
3.4 Persiapan Penelitian	19
3.5 Peremajaan Isolat Bakteri	22
3.6 Analisis <i>Bulk Density</i> Tanah Pasir	22
3.7 Uji Pengaruh Penambahan Volume Bakteri <i>Azotobacter</i>	23
3.8 Uji Penyisihan Logam Kromium.....	24
3.9 Uji Parameter	26
3.10 Hasil dan Pembahasan	28
3.11 Kesimpulan dan Saran	28

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Penelitian Pendahuluan	29
4.2 Penyisihan Logam Kromium.....	33
BAB 5 PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	57
BIOGRAFI PENULIS	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bakteri <i>Azotobacter</i>	11
Gambar 2. 2 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme.....	14
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	18
Gambar 3. 2 Pelaksanaan Penelitian Pendahuluan.....	24
Gambar 3. 3 Reaktor Uji.....	26
Gambar 4. 1 Jumlah Koloni Bakteri Penelitian Pendahuluan....	30
Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan CFU Jam ke- 24 (a) Reaktor KP (b) Reaktor A0 (c) Reaktor A5 (d) Reaktor A10 (e) Reaktor A15.....	32
Gambar 4. 3 pH Reaktor Uji Tanpa Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i>	35
Gambar 4. 4 pH Reaktor Uji dengan Penambahan 15% Bakteri <i>Azotobacter</i>	35
Gambar 4. 5 Suhu pada Reaktor Tanpa Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i>	36
Gambar 4. 6 Suhu Reaktor Uji dengan Penambahan 15% Bakteri <i>Azotobacter</i>	37
Gambar 4. 7 Jumlah Koloni Bakteri Reaktor Uji Tanpa Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i>	39
Gambar 4. 8 Jumlah Koloni Bakteri Reaktor Uji dengan Penambahan 15% Bakteri <i>Azotobacter</i>	39
Gambar 4. 9 Persentase Penyisihan Beban Pencemar Kromium pada Reaktor Tanpa Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i>	44
Gambar 4. 10 Persentase Penyisihan Beban Pencemar Kromium pada Reaktor dengan Penambahan 15% Bakteri <i>Azotobacter</i>	44

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batas Kritis Logam Berat dalam Tanah, Air, dan Tumbuhan.....	7
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 3. 1 Perlakuan antara Variasi Konsentrasi Kromium dan Volume Biakan Bakteri Biakan Bakteri.....	25
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Logam Berat Kromium.....	42
Tabel L. 1 Hasil Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan.....	62
Tabel L. 2 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan.....	63
Tabel L. 3 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Penyisihan Logam Kromium.....	65
Tabel L. 4 Hasil Analisis pH Tanah Reaktor Uji.....	70
Tabel L. 5 Hasil Analisis Suhu Tanah Reaktor Uji.....	70
Tabel L. 6 Hasil Analisis Kelembaban Tanah Reaktor Uji.....	71
Tabel L. 7 Hasil Analisis Jumlah Koloni Bakteri Reaktor Uji.....	71
Tabel L. 8 Hasil Analisis Konsentrasi Total Kromium Reaktor Uji.....	72

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peremajaan Isolat Bakteri	57
Lampiran 2 Penyiapan Reaktor Uji Penyisihan Logam Kromium	58
Lampiran 3 Ekstraksi Pencemar Inorganik dalam Media Tanah	60
Lampiran 4 Uji Jumlah Koloni Bakteri	61
Lampiran 5 Hasil Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan	62
Lampiran 6 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan	63
Lampiran 7 Reaktor Uji Penyisihan Logam Kromium	64
Lampiran 8 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Penyisihan Logam Kromium	65
Lampiran 9 Hasil Analisis Total Kromium	67
Lampiran 10 Data Hasil Penelitian.....	70

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingginya tingkat pertumbuhan industri saat ini memiliki pengaruh yang besar terhadap produksi limbah. Salah satu limbah industri yang bersifat toksik dan karsinogenik adalah limbah yang mengandung logam berat kromium. Bentuk kromium yang sering ditemui di alam bebas adalah Cr^{6+} dan Cr^{3+} . Bentuk Cr^{6+} lebih banyak terlarut dalam air, sedangkan bentuk Cr^{3+} lebih banyak berada di tanah. Bentuk Cr^{3+} lebih stabil dibandingkan bentuk Cr^{6+} . Bentuk Cr^{6+} bersifat lebih karsinogenik dan toksik dibandingkan bentuk logam berat kromium lainnya (James, 2002). Pada umumnya, kromium dihasilkan oleh industri logam, *electroplating*, penyulingan minyak bumi, produksi kimia anorganik, pengolahan tekstil, dan penyamakan kulit (Srinath et al., 2002).

Di Indonesia terdapat beberapa wilayah yang mengalami pencemaran tanah akibat industri penghasil limbah kromium. Beberapa wilayah tersebut, antara lain: Kecamatan Jaten, Rancaekek, dan Juwana. Di Kecamatan Jaten, Kabupaten Karanganyar, Surakarta, tanah persawahannya telah tercemar limbah kromium industri tekstil sebesar 0,531-3,99 mg/L. Di Rancaekek, Kabupaten Bandung, tanah persawahannya telah tercemar limbah kromium industri tekstil sebesar 13 mg/kg. Daerah persawahan di Kecamatan Juwana, Pati, Jawa Tengah telah mengalami pencemaran tanah akibat limbah industri *electroplating* sebesar 6,0-27,7 mg/kg (Sutono dan Kurnia, 2013).

Menurut Notodarmojo (2005), besarnya logam kromium maksimal dalam tanah adalah 10 mg/kg. *Ministry of State for Population and Environmental of Indonesia and Dalhousie University Canada* (1992) menyatakan besarnya kromium maksimum dalam tanah sebesar 2,5 ppm. Berdasarkan beberapa peraturan tersebut, maka perlu dilakukan suatu pengolahan pada limbah industri penghasil kromium dan pemulihan kualitas tanah tercemar kromium. Penyisihan logam kromium pada air limbah dan tanah tercemar dapat mengurangi resiko kesehatan yang ditimbulkan, baik bagi manusia maupun alam.

Salah satu alternatif pengolahan logam berat yang dapat diterapkan adalah bioremediasi (Megharaj et al., 2003). Bioremediasi merupakan pengolahan limbah yang memanfaatkan mikroorganisme dalam upaya mereduksi logam berat, baik secara insitu maupun eksitu (Lloyd et al., 2001). Mikroorganisme tersebut beradaptasi dengan lingkungannya melalui beberapa metode seperti: adsorpsi, oksidasi, dan reduksi, sehingga resisten terhadap logam berat (Shakoori et al., 2010). Salah satu mikroorganisme yang dapat digunakan untuk bioremediasi logam berat adalah bakteri. Pada proses bioremediasi oleh bakteri, terdapat kadar maksimum logam berat yang mampu diolah (Mythili dan Karthikeyan, 2011). Masing-masing bakteri yang digunakan dalam bioremediasi memiliki kadar maksimum logam berat yang berbeda-beda (Evelyne dan Ravinskar, 2014). Perbedaan nilai kadar maksimum tersebut dipengaruhi oleh kemampuan bakteri dalam mengolah maupun mengakumulasi logam berat dalam proses metabolismenya (Deepali, 2011).

Pavel et al. (2012) menyatakan bahwa *Azotobacter* resisten terhadap logam berat kromium dengan kadar sekitar 300 mg/L. *Azotobacter* S8 merupakan bakteri yang bersifat kosmopolit dan memiliki resistensi terhadap banyak logam. *Azotobacter* merupakan bakteri gram negatif, bersifat aerobik, *polymorphic*, yang memiliki komponen polimer ekstraseluler yaitu eksopolisakarida (EPS). Adanya eksopolisakarida (EPS) membuat bakteri *Azotobacter* memiliki sifat mengikat polutan logam (Erni dan Regina, 2011).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka teknik pengolahan tanah tercemar kromium yang diterapkan adalah bioremediasi menggunakan *Azotobacter* S8. Pada penelitian ini juga terdapat variasi penambahan bakteri *Azotobacter* pada tanah tercemar kromium. Hal tersebut dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan bakteri terhadap tanah tercemar dalam proses penyisihan logam kromium.

1.2 Rumusan Masalah

Logam kromium merupakan logam berat yang bersifat toksik. Salah satu bentuk pengolahan yang dapat digunakan untuk mengembalikan fungsi tanah adalah bioremediasi.

Bioremediasi adalah proses pengolahan yang memanfaatkan kemampuan mikroorganisme untuk mereduksi kandungan logam berat. Salah satu mikroorganisme yang dapat digunakan dalam proses bioremediasi adalah bakteri. Bakteri *Azotobacter* merupakan salah satu bakteri yang memiliki kemampuan untuk hidup di media terpapar kromium.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan persentase penyisihan logam berat kromium pada tanah tercemar oleh bakteri.
2. Menentukan pengaruh penambahan bakteri *Azotobacter* pada tanah tercemar dalam penyisihan logam berat kromium.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan selama 3 bulan, dari bulan September 2016 sampai bulan November 2016.
2. Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Azotobacter* S8 dari Laboratorium Remediasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
3. Tanah tercemar kromium yang digunakan adalah tanah pasir yang telah ditambah larutan kromium CrCl_3 .
4. Pasir yang digunakan sebagai tanah tercemar kromium berasal dari pasir sungai.
5. Variasi konsentrasi kromium yang digunakan dalam mg/L adalah 50, 75, dan 100.
6. Variasi penambahan bakteri *Azotobacter* pada uji pengaruh penambahan volume bakteri dalam % (v/v) adalah 0, 5, 10, dan 15.
7. Parameter yang diuji dalam penelitian ini adalah total kromium, pH, suhu, kelembaban tanah, dan jumlah koloni bakteri.
8. Analisis total kromium dilakukan dengan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia FTI ITS.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

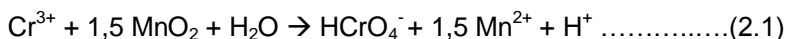
1. Sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menyisihkan logam berat kromium pada tanah tercemar.
2. Sebagai referensi penelitian lain yang berkaitan dengan bioremediasi, logam berat kromium, tanah tercemar, dan bakteri *Azotobacter S8*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

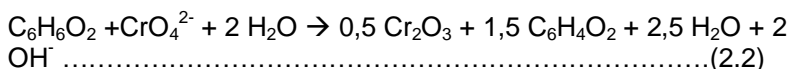
2.1 Logam Berat Kromium

Logam berat kromium merupakan logam berkilau yang bersifat keras dan berwarna abu-abu. Dalam tabel periodik unsur, kromium berada pada kolom VI B baris pertama. Logam kromium memiliki nomor atom 24, massa atom 51,99, dan valensi dari 1 sampai 6. Bentuk kromium yang sering ditemukan di alam bebas adalah Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Bentuk Cr^{3+} pada umumnya sering ditemukan berada di tanah dan bersifat stabil. Bentuk Cr^{6+} banyak ditemukan terlarut dalam air dan bersifat kurang stabil (James, 2002).

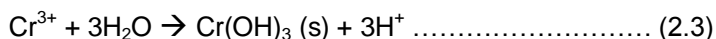
Bentuk Cr^{6+} bersifat lebih reaktif dan beracun daripada bentuk Cr^{3+} . Dalam tanah, bentuk Cr^{6+} berubah menjadi lebih stabil dalam bentuk Cr^{3+} . Menurut Apte et al. (2005), dalam siklus kromium terjadi reaksi oksidasi dan reduksi. Reaksi oksidasi Cr^{3+} menjadi Cr^{6+} oleh MnO_2 dapat dilihat pada persamaan 2.1.



Reaksi reduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} oleh senyawa organik dapat dilihat pada persamaan 2.2.



Reaksi reduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} lebih mudah dilakukan daripada reaksi oksidasi Cr^{3+} menjadi Cr^{6+} . Hal ini dipengaruhi oleh ikatan Cr^{3+} dalam tanah yang cenderung lebih stabil dibandingkan Cr^{6+} (Cervantes et al., 2001). Menurut Imai dan Gloyne (1990), reaksi Cr^{3+} apabila berada di air dapat dinyatakan dengan persamaan 2.3.



Kromium hidroksida hasil reaksi di atas bersifat amfoterik dan range pH pembentukan presipitatnya adalah pada pH 5-7. Cheng

dan Li (2009) juga menyatakan bahwa larutan kromium memiliki pH yang cenderung basa. Dalam penelitiannya tentang pengaruh penambahan asam terhadap penentuan kadar kromium, Alfian (2007) menyatakan bahwa kromium akan mudah larut pada larutan dengan pH 3.

2.2 Pemanfaatan Logam Berat Kromium

Logam kromium banyak digunakan dalam bidang industri. Di industri logam, logam kromium digunakan sebagai bahan campuran pada produksi baja. Campuran kromium dalam logam baja, membuat logam baja tidak bersifat korosif. Hasil produksi baja yang telah ditambahkan logam kromium juga menjadi lebih keras dan kuat. Kromium juga dapat digunakan sebagai bahan campuran logam non besi, yang dikombinasikan dengan logam nikel, kobalt, aluminium, titanium, dan tembaga (Bielicka et al., 2005).

Logam kromium juga banyak digunakan dalam industri cat dan tinta. Dalam industri cat, logam kromium berfungsi sebagai bahan kimia penghasil pigmen dan penguat warna. Sifat kromium sebagai penguat warna tersebut juga dimanfaatkan dalam industri tekstil. Di industri tekstil, logam kromium digunakan saat pencelupan produk tekstil. Hal ini bertujuan untuk memperkuat warna pada produk tekstil agar tidak mudah luntur atau pudar (Saha, 2010).

Logam kromium dalam bentuk kromit digunakan dalam industri refraktori untuk membuat batu-bata dan mortar. Penggunaan kromit pada industri refraktori dapat meningkatkan kekuatan termal, stabilitas volume, dan kekuatan produk (Downing et al., 2000). Logam kromium juga menjadi bahan utama dalam industri penyamakan kulit. Proses penyamakan bertujuan mengubah kulit mentah yang mudah rusak oleh aktivitas mikroorganisme menjadi kulit tersamak yang tidak mudah rusak (Lofrano et al., 2008).

2.3 Pencemaran Kromium

Kromium merupakan kontaminan yang berbahaya bagi lingkungan. Kromium dalam bentuk Cr^{6+} bersifat mudah larut, beracun, karsinogenik, dermatoksis, dan dalam jumlah berlebih dapat mengakibatkan kematian pada makhluk hidup (Zayed dan Terry, 2003). Kromium telah menimbulkan masalah pencemaran di beberapa wilayah di Indonesia. Beberapa wilayah tersebut, antara lain: Kecamatan Jaten, Rancaekek, dan Juwana. Di Kecamatan Jaten, Kabupaten Karanganyar, Surakarta, tanah persawahannya telah tercemar limbah kromium industri tekstil sebesar 0,531-3,99 mg/L. Di Rancaekek, Kabupaten Bandung, tanah persawahannya telah tercemar limbah kromium industri tekstil sebesar 13 mg/kg. Daerah persawahan di Kecamatan Juwana, Pati, Jawa Tengah telah mengalami pencemaran tanah akibat limbah industri *electroplating* sebesar 6,0-27,7 mg/kg (Sutono dan Kurnia, 2013).

Menurut Notodarmojo (2005), besarnya logam kromium maksimal dalam tanah adalah 10 mg/kg. Peraturan lain juga memberikan batas maksimum kadar beberapa jenis logam berat dalam tanah. Salah satu logam berat yang diberikan batasan adalah kromium. Besarnya kadar kromium yang diperbolehkan dalam tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Batas Kritis Logam Berat dalam Tanah, Air, dan Tumbuhan

Logam Berat	Tanah (ppm)	Air (ppm)	Tumbuhan (ppm)
Pb	100	0,03	50
Cd	0,5	0,05-0,1	5-30
Co	10	0,4-0,6	15-30
Cr	2,5	0,5-1,0	5-30
Ni	50	0,2-0,5	5-30
Cu	60-125	2-3	20-100
Mn	1500	-	-
Zn	70	5-10	100-400

Sumber: *Ministry of State for Population and Environmental of Indonesia and Dalhousie, University Canada* (1992).

2.4 Penyisihan Logam Kromium

Penggunaan kromium di bidang industri menyebabkan pelepasan kromium ke lingkungan menjadi cukup besar. Kromium merupakan racun bagi sistem biologis makhluk hidup. Hal ini dikarenakan sifat kromium sebagai pengoksidasi yang sangat kuat. Oksidasi yang kuat dari kromium tersebut sangat berbahaya, karena dapat merusak sel-sel (Kotas dan Stasicka, 2000).

Kromium dalam bentuk Cr^{6+} biasanya akan memasuki sel dan direduksi menjadi Cr^{3+} oleh proses enzimatik maupun non enzimatik. Kromium bentuk Cr^{3+} dinilai memiliki kadar racun yang rendah dan membran sel dianggap hampir kedap terhadap Cr^{3+} . Saat ini proses detoksifikasi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} sangat diperlukan di lingkungan. Berbagai cara reduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} telah diterapkan, namun proses reduksi yang dilakukan menimbulkan pencemaran residu pengolahan. Proses reduksi secara fisik dan kimia yang dilakukan menghasilkan pencemaran residu, seperti lumpur hasil pengolahan. Metode reduksi kromium secara biologis atau lebih sering disebut bioremediasi menjadi pilihan yang lebih utama. Bioremediasi dengan detoksifikasi logam berat oleh mikroorganisme dinilai lebih ekonomis, aman, dan berkelanjutan. Bioremediasi juga dianggap tidak menimbulkan efek samping berupa pencemaran residu pengolahan (Shakoori et al., 2000).

Mikroorganisme yang digunakan dalam teknik bioremediasi merupakan mikroorganisme dari area tercemar ataupun mikroorganisme yang sengaja dibawa ke area tercemar (Gunasekaran et al., 2003). Prinsip bioremediasi adalah memanfaatkan reaksi metabolisme dari mikroorganisme untuk mendegradasi polutan. Proses bioremediasi menggunakan reaksi enzimatik kompleks dalam tubuh mikroorganisme. Reaksi ini akan menyisihkan kadar polutan, sehingga menyebabkan penurunan tingkat pencemaran. Proses reduksi terhadap polutan tersebut terjadi akibat adanya pemecahan struktur polutan maupun penimbunan polutan dalam tubuh mikroorganisme (Vidali, 2001). Menurut Fendorf dan Li (1996), mikroorganisme dapat mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} secara enzimatik dan non enzimatik.

2.5 Mekanisme Biosorpsi

Menurut Zarkasyi (2008), biosorpsi merupakan terkonsentrasi dan terakumulasinya bahan pencemar dari suatu cairan dalam tubuh mikroorganisme. Tubuh mikroorganisme tersebut *me-recovery* bahan pencemar, sehingga aman bila dilepas ke lingkungan. Pada mekanisme biosorpsi terdapat proses biologis dan kimia. Secara biologis, proses biosorpsi melibatkan dua mekanisme. Adapun mekanisme yang tergolong proses biologis adalah proses *active uptake* dan *passive uptake*. Proses *active uptake* dapat terjadi pada setiap tipe sel hidup. Mekanisme proses *active uptake* terjadi sejalan dengan proses konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme dan akumulasi intraselular ion logam tersebut. Proses *passive uptake* adalah proses yang terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding biosorben. Mekanisme yang terjadi pada proses *passive uptake* adalah pertukaran ion dan pembentukan senyawa kompleks.

Sebagian besar proses biosorpsi pada mikroorganisme adalah proses pertukaran ion. Mekanisme pertukaran ion yang dilakukan oleh bakteri dibagi menjadi 3 macam, yaitu:

- a. Berdasarkan metabolisme sel
Proses biosorpsi dibedakan menjadi 2 macam, yaitu: biosorpsi yang bergantung dan yang tidak bergantung pada metabolisme.
- b. Berdasarkan posisi logam berat yang disisihkan
Proses biosorpsi dibagi 3 macam, yaitu: akumulasi ekstraseluler (presipitasi), akumulasi intraseluler, dan penyerapan oleh permukaan sel.
- c. Berdasarkan absorpsi logam berat
Proses biosorpsi dibagi menjadi 2 macam, yaitu: proses *passive uptake* dan *active uptake*.

2.6 Bioaugmentasi

Menurut Mrozik dan Piotrowska-Seget (2010) salah satu metode bioremediasi adalah dengan cara bioaugmentasi. Bioaugmentasi merupakan bioremediasi yang dilakukan secara *in situ* dengan menambahkan bakteri pengurai zat pencemar di tanah tercemar. Penambahan bakteri dari luar lingkungan yang tercemar tersebut bertujuan untuk meningkatkan persentase penyisihan zat pencemar oleh bakteri.

Bioaugmentasi dapat diterapkan untuk bioremediasi tanah tercemar saat jumlah bakteri dalam tanah tidak terdeteksi atau dalam jumlah kecil. Bioaugmentasi juga dapat diterapkan ketika ada bakteri toksik yang harus dihilangkan melalui pemanfaatan sifat kompetitif bakteri. Faktor-faktor yang mempengaruhi bioaugmentasi yaitu berupa faktor biotik dan faktor abiotik. Faktor biotik yang dapat mempengaruhi bioaugmentasi adalah sifat kompetitif bakteri *indigenous* dan bakteri *exogenous* dalam pemenuhan nutrisi untuk proses metabolisme. Adapun faktor abiotik yang dapat mempengaruhi bioaugmentasi yaitu suhu, kelembaban tanah, pH, aerasi, dan jumlah nutrisi dalam tanah.

2.7 Bakteri Azotobacter

Klasifikasi dari bakteri *Azotobacter sp* adalah:

kingdom : *Bacteria*

filum : *Proteobacteria*

kelas : *Gamma proteobacteria*

ordo : *Rhodospirillase*

family : *Pseudomonadaceae* atau *Azotobacteraceae*

genus : *Azotobacter*

Pada medium yang sesuai, *Azotobacter* (Gambar 2.1) mampu menambatkan 10-20 mg nitrogen/g gula. *Azotobacter sp.* adalah bakteri gram negatif, bersifat aerobik, *polymorphic*, dan mempunyai berbagai ukuran serta bentuk. *Azotobacter sp.* sensitif terhadap asam, konsentrasi garam yang tinggi, dan temperatur di atas 35°C.



Gambar 2. 1 Bakteri *Azotobacter*
Sumber: Wedhastri (2002)

Adapun spesies *Azotobacter* yang paling sering dimanfaatkan dalam bioremediasi yaitu *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter agilis*, *Azotobacter paspali*, dan *Azotobacter vinelandii* (Wedhastri, 2002).

Azotobacter chroococum adalah spesies yang paling sering ditemui di dalam kandungan tanah. *Azotobacter* mempunyai sifat aerobik, sehingga dengan adanya aerasi, pertumbuhan dari *Azotobacter* dapat ditingkatkan. Bakteri pengikat nitrogen dari genus *Azotobacter* mampu meningkatkan unsur hara dalam tanah. Bakteri ini mampu memecah berbagai molekul zat organik dan merangsang pertumbuhan mikroorganisme akar, serta menghambat pertumbuhan jamur patogen. *Azotobacter* sangat baik digunakan pada tanah tercemar minyak. Bakteri ini memanfaatkan senyawa karbon pada minyak sebagai sumber energi (Gradova et al., 2003).

Menurut Safita dan Zulaika (2015) bakteri *Azotobacter* juga resisten terhadap logam berat, seperti Hg, Cd, Cu, Pb, dan Cr. Dalam penelitiannya, dijelaskan bahwa bakteri *Azotobacter* memiliki tingkat resistensi terhadap logam kromium (Cr) sebesar 200 mg/L. Pavel et al. (2012) juga menyatakan bahwa *Azotobacter* resisten terhadap logam berat kromium dengan kadar sekitar 300 mg/L.

2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganisme

Menurut Trihadiningrum (2012), faktor lingkungan yang sangat berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme adalah: suhu, kondisi atmosferik, pH, dan tekanan osmosis.

a. Suhu

Setiap spesies memerlukan kisaran suhu tertentu untuk pertumbuhannya. Ada 3 golongan mikroorganisme menurut suhu lingkungan tempat hidupnya, yaitu:

- Psikrofil : golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu 0°C atau lebih rendah lagi.
- Mesofil : golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu 25°C-40°C.
- Termofil : golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu 45°C-60°C.

b. Kondisi atmosferik

Berdasarkan kebutuhan oksigennya, mikroorganisme dapat digolongkan menjadi 4 kelompok, yaitu:

- Mikroorganisme aerobik: kelompok mikroorganisme yang memerlukan oksigen dalam melakukan respirasi seluler.
- Mikroorganisme anaerobik obligat: kelompok mikroorganisme yang tidak dapat hidup dalam lingkungan yang mengandung oksigen.
- Mikroorganisme anaerobik fakultatif: kelompok mikroorganisme yang dapat hidup dengan atau tanpa oksigen.
- Mikroorganisme mikroaerofilik: kelompok mikroorganisme aerobik yang hanya memerlukan oksigen dengan tekanan rendah.

c. pH

Nilai pH yang ekstrim rendah dapat mengakibatkan gangguan pada pertumbuhan mikroorganisme, karena dapat mempengaruhi aktifitas enzim. Kisaran pH optimum untuk sebagian besar mikroorganisme adalah 6,5-7,5. Batas minimum dan maksimum pH yang sesuai adalah 4-9. Nilai pH biakan mikroorganisme dapat berubah akibat terbentuknya produk metabolisme yang dapat bersifat asam maupun basa. Perubahan pH tersebut dapat menghambat

pertumbuhan mikroorganisme, sehingga perlu adanya penambahan larutan penyangga dalam media tumbuh mikroorganisme.

d. Tekanan osmosis

Mikroorganisme pada umumnya hidup di lingkungan yang sedikit hipotonik dari sitoplasmanya. Apabila konsentrasi zat terlarut di dalam sel lebih tinggi daripada di luar sel, maka akan terjadi plasmoptisis. Plasmoptisis adalah kondisi mengalirnya air dari luar sel ke dalam sel, sehingga sel mikroorganisme dapat pecah. Apabila konsentrasi zat terlarut dalam sel lebih rendah daripada di luar sel, maka akan terjadi plasmolisis. Plasmolisis adalah kondisi mengalirnya air dari dalam sel ke luar sel, sehingga dapat menyebabkan dehidrasi sel. Hal ini dapat menghambat aktivitas di dalam sel mikroorganisme.

2.9 Pertumbuhan Mikroorganisme

Menurut Trihadiningrum (2012), pertumbuhan mikroorganisme dapat ditentukan berdasarkan pola reproduksinya. Ada 4 fase pertumbuhan mikroorganisme (Gambar 2.2), yaitu:

a. Fase lag atau fase lamban

Pada fase ini, mikroorganisme beradaptasi dengan lingkungannya dan terjadi perbesaran sel.

b. Fase logaritmik atau eksponensial

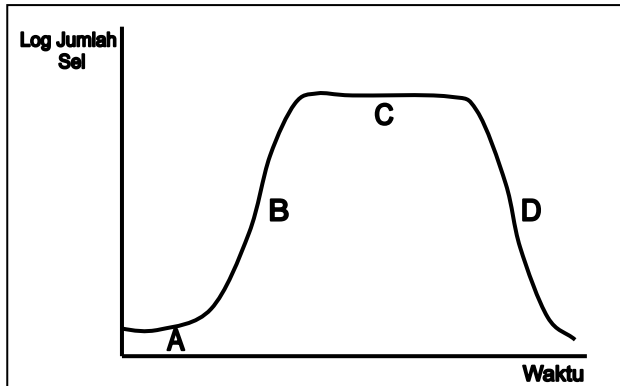
Pada fase ini, terjadi pembelahan sel mikroorganisme dengan laju konstan.

c. Fase stationer

Pada fase ini, pertumbuhan mikroorganisme berjalan seimbang.

d. Fase kematian

Pada fase ini, sebagian sel mengalami kematian akibat berkurangnya zat nutrisi. Fase ini juga terjadi saat ada penumpukan produk metabolisme yang beracun.



Gambar 2. 2 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme
Sumber: Trihadiningrum (2012)

Kurva pertumbuhan mikroorganisme dapat dibuat dengan memplotkan jumlah mikroorganisme yang tumbuh pada periode waktu tertentu terhadap waktu. Perhitungan jumlah mikroorganisme dapat dilakukan dengan cara:

a. *Plate count*

Menghitung jumlah koloni yang tumbuh pada media di cawan petri dari sampel yang diencerkan secara seri.

b. Membran filtrasi

Menghitung jumlah koloni pada membran filter yang digunakan untuk menyaring sampel.

c. Penghitungan langsung

Jumlah mikroorganisme dihitung secara langsung dengan *coulter counter*.

d. *Most Probable Number (MPN)*

Memperkirakan jumlah mikroorganisme dengan mengukur perubahan substrat menjadi produk metabolisme yang dapat dideteksi dan diekivalensikan dengan pertumbuhan mikroorganisme.

Adapun cara lain untuk mengukur pertumbuhan mikroorganisme, yaitu:

a. Pengukuran berat kering mikroorganisme.

b. Pengukuran turbiditas atau *optical density* (absorbansi) biakan cair suatu mikroorganisme.

- c. Pengukuran kadar substrat yang berkurang atau kadar produk metabolisme yang terbentuk.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang penyisihan logam kromium pada tanah tercemar telah banyak dilakukan. Penelitian tersebut berguna sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya. Adanya data tentang penelitian terdahulu juga mempermudah penentuan metode yang paling efektif dilakukan untuk penyisihan kromium. Data-data tersebut juga menunjang berkembangnya penelitian dan mengurangi pengulangan sebuah penelitian. Adapun penelitian tentang penyisihan logam kromium dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Berdasarkan Tabel 2.2 diketahui bahwa bakteri *Azotobacter* cukup resisten terhadap logam kromium. Resistensi tertinggi bakteri *Azotobacter* terhadap logam kromium adalah 300 mg/L. Bakteri *Azotobacter* juga terbukti mampu menyisihkan logam kromium dengan persentase reduksi sebesar 10,53%. Besarnya reduksi tersebut terjadi di media cair tercemar kromium, sehingga pada penelitian ini dilakukan uji penyisihan di media tanah tercemar.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Bakteri	Media Tercemar	Logam Berat	Konsentrasi Awal	Efisiensi Penyisihan	Waktu	Rujukan
1.	Bakteri dari tanah tercemar kromium	Tanah	Cr ⁶⁺	50 mg/L	97%	20 hari (anaerobik)	Jeyasingh dan Philip (2005)
2.	<i>Micrococcus luteus</i> , <i>Acinetobacter calacetus</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , dan <i>Serratia marcescens</i> .	Cair	Cr ⁶⁺	100 mg/L	70,53%	24 jam (aerobik)	Mishra et al. (2010)
3.	<i>Azotobacter</i>	Agar	Cr ⁶⁺	200 mg/L	Resisten	-	Safita dan Zulaika (2015)
4.	<i>Azotobacter</i>	Agar	Cr ⁶⁺	300 mg/L	Resisten	-	Pavel et al. (2012)
5.	<i>Azotobacter</i> S8	Cair	Cr ³⁺	50 mg/L	10,53%	4 jam (aerobik)	Imron (2016)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

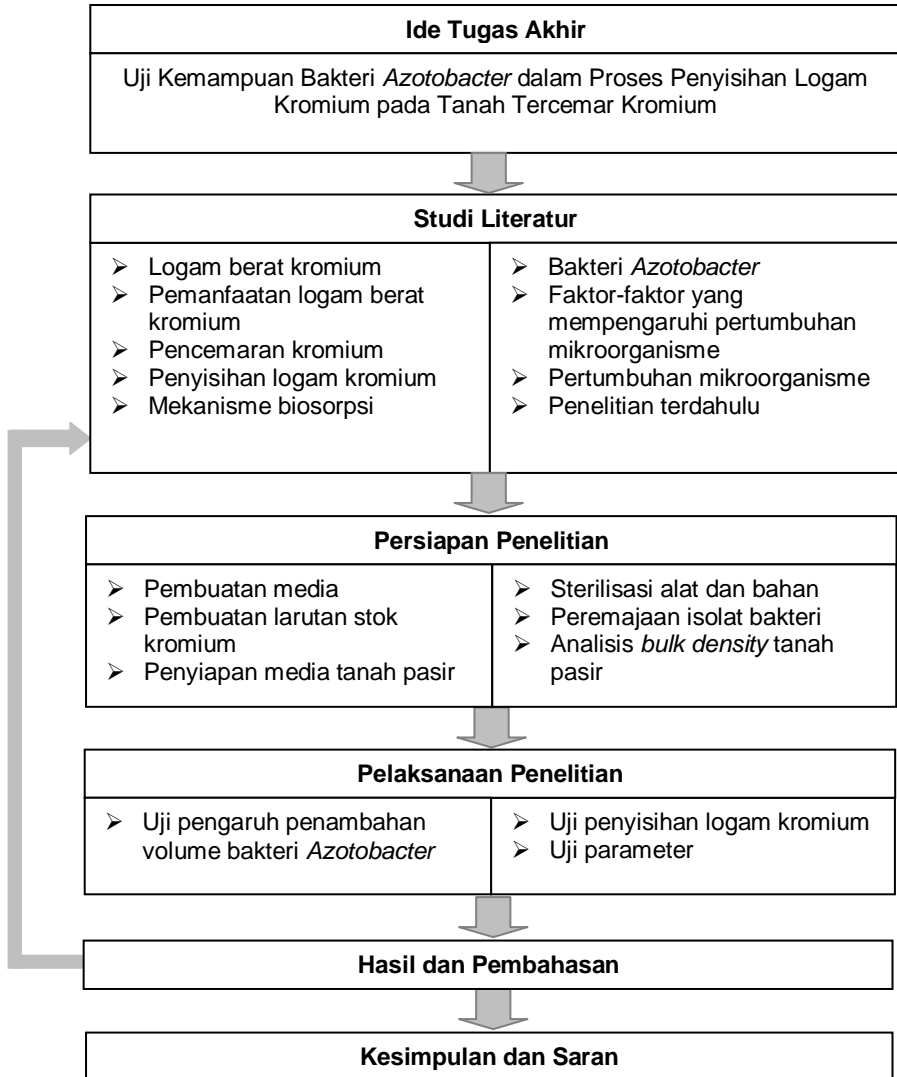
Metode penelitian ini disusun sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Metode penelitian ini juga disusun untuk mempermudah pemahaman dalam melaksanakan penelitian, sehingga mengurangi terjadinya kesalahan dalam prosedur kerja.

Penelitian ini menguji kemampuan bakteri *Azotobacter* dalam menyisihkan logam kromium pada tanah tercemar. Tanah tercemar kromium yang digunakan merupakan tanah tercemar buatan. Paramater yang diuji antara lain: total logam kromium (Cr), suhu, pH, kelembaban tanah, dan jumlah koloni bakteri. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah bakteri dan konsentrasi limbah kromium dalam tanah tercemar. Isolat bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri *Azotobacter* koleksi Laboratorium Remediasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP ITS.

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penelitian yang berupa analisis kandungan kromium (Cr) dilakukan di Laboratorium Tim Afiliasi dan Konsultasi Industri Teknik Kimia ITS Surabaya. Kerangka penelitian secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2 Ide Tugas Akhir

Banyaknya industri pengguna logam kromium seperti industri elektroplating, kertas, logam, dan penyamakan kulit, membuat pencemaran logam kromium semakin besar. Besarnya pencemaran logam berat kromium tersebut dapat memperburuk kondisi lingkungan, sehingga dibutuhkan metode penyisihan kromium. Salah satu metode penyisihan logam kromium yang dapat dilakukan adalah bioremediasi. Bioremediasi merupakan metode penyisihan logam berat dengan memanfaatkan bakteri yang resisten terhadap logam berat.



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

Bakteri *Azotobacter* merupakan salah satu bakteri yang resisten terhadap beberapa logam berat. Bakteri *Azotobacter*

juga tergolong sebagai salah satu bakteri yang resisten terhadap logam kromium dengan kadar tertentu. Tingkat resistensi bakteri *Azotobacter* tersebut menunjang proses bioremediasi tanah tercemar kromium. Bakteri *Azotobacter* memiliki kemampuan untuk melakukan proses biosorpsi melalui permukaan sel maupun melalui proses metabolisme sel. Bakteri *Azotobacter* juga merupakan bakteri yang keberadaannya cukup melimpah di alam dan dapat diisolasi untuk dikembangkan.

Beberapa kondisi tersebut, membuat munculnya ide penelitian tentang bioremediasi logam berat kromium menggunakan bakteri *Azotobacter*. Penggunaan bakteri *Azotobacter* tersebut diharapkan mampu meningkatkan kualitas tanah tercemar kromium agar tidak mencemari lingkungan.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini bertujuan untuk mendukung ide tugas akhir dan sebagai acuan dalam menentukan jumlah isolat bakteri. Studi literatur juga bermanfaat untuk menentukan perlakuan paling optimum agar bakteri dapat tumbuh dengan baik.

Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini berupa jurnal penelitian, peraturan, buku, disertasi, tugas akhir, skripsi, dan seminar. Sumber literatur tersebut membahas tentang logam berat kromium, bakteri *Azotobacter*, laju pertumbuhan bakteri, dan metode penyisihan logam berat oleh bakteri.

3.4 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan penelitian merupakan tahap awal dalam penelitian. Pada tahap ini dilakukan penyiapan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Beberapa hal yang dilakukan pada tahap ini, antara lain: pembuatan media tumbuh bakteri, air salin, larutan stok kromium, persiapan media tanah pasir, serta sterilisasi alat dan bahan.

1. Pembuatan media *Nutrient Broth* (NB)

Media NB digunakan sebagai media tumbuh bakteri saat uji penyisihan logam kromium. Media NB dibuat sesuai dengan kebutuhan. Dalam pembuatan 1 liter media NB dibutuhkan serbuk NB sebanyak 8 gram.

Media NB dalam bentuk bubuk ditimbang dengan neraca analitik sesuai dengan kebutuhan. Selanjutnya, serbuk NB dilarutkan ke dalam aquades dengan cara diaduk dengan spatula kaca. Larutan media NB yang telah dibuat dapat ditempatkan dalam tabung reaksi atau labu Erlenmeyer untuk proses sterilisasi.

2. Pembuatan media *Nutrient Agar* (NA)

Pada pembuatan 1 liter media NA dibutuhkan 20 gram serbuk NA. Serbuk NA yang digunakan untuk membuat media agar ditimbang dengan neraca analitik. Kemudian, serbuk NA dilarutkan ke dalam aquades. Proses pelarutan serbuk NA ke dalam aquades dilakukan dalam kondisi panas di atas kompor listrik. Pengadukan larutan NA menggunakan spatula kaca. Setelah serbuk NA larut, larutan NA dituang ke dalam tabung reaksi sesuai dengan kebutuhan. Proses penuangan ini harus segera dilakukan sebelum media NA mengeras. Selanjutnya, media NA dalam tabung reaksi disterilkan dengan *autoclave*. Media NA dalam percobaan ini digunakan sebagai media tumbuh inokulan bakteri saat peremajaan bakteri dan uji jumlah koloni bakteri.

Media NA yang telah disterilisasi dengan *autoclave* selanjutnya dapat digunakan untuk membuat media agar miring dan datar. Kebutuhan media NA cair untuk membuat media agar miring dan datar masing-masing sebanyak 10 mL. Wadah yang dapat digunakan dalam pembuatan media agar miring berupa tabung reaksi dan agar datar berupa cawan petri. Agar miring dibuat dengan cara memiringkan media NA cair dalam tabung reaksi. Agar datar dibuat dengan cara menuang media NA cair ke dalam cawan petri dalam kondisi aseptik. Sebelum proses penuangan media NA, cawan petri disterilisasi dengan cara mengapi-apikan mulut cawan. Api yang digunakan untuk menciptakan kondisi aseptik saat pemindahan media NA berasal dari bunsen. Setelah media NA dalam cawan petri memadat, mulut cawan

petri diapi-apikan kembali. Selanjutnya, media NA dalam cawan petri dan tabung reaksi dapat digunakan untuk proses inokulasi bakteri.

3. Pembuatan air salin

Air salin dibuat dengan cara melarutkan serbuk NaCl ke dalam aquades sesuai kebutuhan. Kebutuhan serbuk NaCl dalam pembuatan 1 liter air salin adalah 8,5 gram. Serbuk NaCl ditimbang menggunakan neraca analitik, kemudian dilarutkan ke dalam aquades dengan cara diaduk hingga homogen menggunakan spatula. Larutan air salin NaCl yang telah homogen disterilisasi menggunakan *autoclave*. Air salin NaCl pada penelitian ini digunakan sebagai larutan pengencer dalam uji jumlah bakteri dan uji penyisihan logam kromium.

4. Pembuatan larutan stok kromium

Pembuatan larutan kromium dilakukan dengan cara melarutkan CrCl_3 bubuk ke dalam 1 liter aquades sesuai dengan konsentrasi yang telah ditentukan. Bubuk CrCl_3 yang digunakan untuk membuat larutan stok kromium ditimbang menggunakan neraca analitik. Selanjutnya, bubuk CrCl_3 dilarutkan ke dalam aquades dengan cara diaduk menggunakan spatula. Larutan kromium yang telah homogen disterilisasi menggunakan *autoclave*. Larutan stok kromium digunakan pada uji pengaruh penambahan volume bakteri dan uji penyisihan logam kromium.

5. Penyiapan media tanah pasir

Tanah pasir digunakan sebagai media tanah tercemar buatan yang dicampur dengan larutan kromium. Tanah pasir yang digunakan sebagai media dijemur sampai tanah pasir terlihat kering dan tidak menggumpal. Selanjutnya tanah pasir diayak agar memiliki ukuran butiran yang seragam. Hal ini dilakukan agar logam kromium yang ditambahkan pada tanah pasir dapat tercampur secara merata.

6. Sterilisasi alat dan bahan untuk penelitian

Metode yang digunakan untuk sterilisasi alat dan bahan pada penelitian ini merujuk pada Kubyshkina et al. (2011) yang telah disesuaikan. Semua alat yang digunakan dalam penelitian ini harus dalam keadaan steril. Sebelum digunakan semua alat dicuci kemudian dikeringkan, baik

menggunakan kain maupun dengan cara diangin-anginkan. Setelah alat kering, setiap alat dapat dibungkus dengan kertas cokelat untuk menghindari masuknya uap air ke dalam alat saat sterilisasi.

Alat-alat yang telah terbungkus dimasukkan ke dalam *autoclave* untuk disterilisasi dengan metode uap panas. Suhu dan tekanan *autoclave* yang digunakan untuk sterilisasi adalah 121°C dan 1,1 atm. Proses sterilisasi dilakukan selama ± 60 menit. Proses sterilisasi juga dilakukan pada bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian. Bahan-bahan yang harus disterilkan, antara lain: media NB, media NA, air salin, dan larutan stok kromium. Tujuan proses sterilisasi ini adalah untuk menghilangkan mikroorganisme yang ada pada alat dan bahan, sehingga tidak terjadi kontaminasi.

3.5 Peremajaan Isolat Bakteri

Proses peremajaan isolat bakteri ini bertujuan untuk memperbanyak jumlah biakan dan mencegah terjadinya kontaminasi pada biakan induk. Metode peremajaan isolat bakteri merujuk pada Machmud (2001) yang telah disesuaikan. Pada tahap ini, isolat bakteri *Azotobacter* dari media indukan diinokulasi pada media biakan baru.

Media biakan baru berupa media agar miring NA yang telah disterilkan. Inokulasi bakteri dilakukan dengan cara aseptik agar tidak terjadi kontaminasi mikroorganisme lain. Setelah proses inokulasi, media biakan baru diinkubasi dengan suhu 37°C dalam inkubator. Tahap peremajaan isolat bakteri secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.6 Analisis *Bulk Density* Tanah Pasir

Analisis *bulk density* pada tanah pasir digunakan untuk menentukan volume larutan CrCl_3 yang harus ditambahkan pada tanah pasir. Penambahan volume larutan CrCl_3 sesuai dengan nilai *bulk density* diharapkan dapat membuat seluruh tanah pasir terkontaminasi kromium. Analisis *bulk density* dilakukan dengan cara menambahkan air ke dalam tanah pasir dengan berat

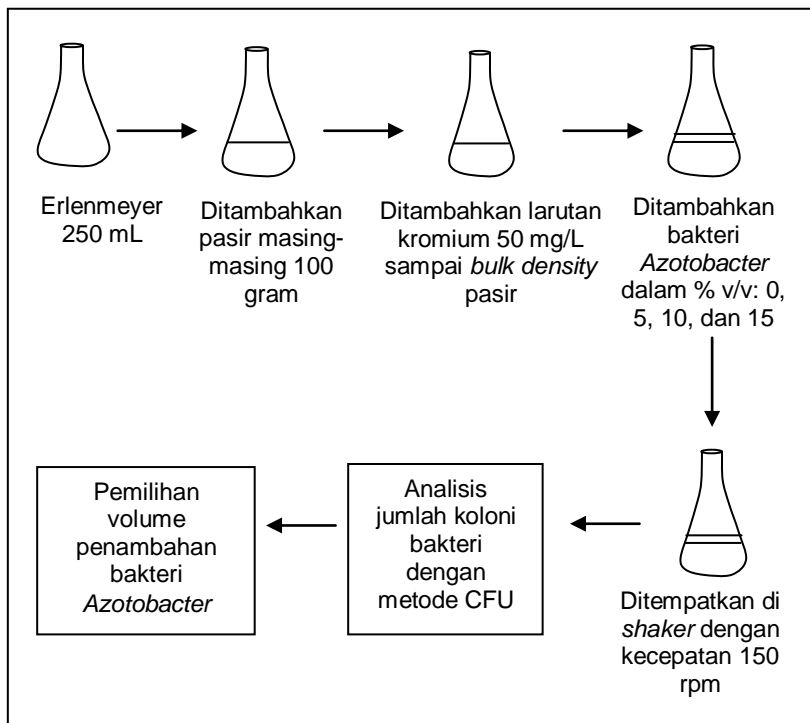
tertentu di sebuah corong. Nilai *bulk density* dicatat dari volume air yang ditambahkan per berat tanah pasir sampai tanah dalam kondisi basah. Kondisi basah pada tanah pasir tersebut ditandai dengan adanya tetes air pertama yang keluar dari corong yang berisi tanah pasir.

3.7 Uji Pengaruh Penambahan Volume Bakteri *Azotobacter*

Uji pengaruh penambahan volume bakteri *Azotobacter* merupakan penelitian pendahuluan untuk menentukan besarnya volume bakteri yang ditambahkan pada reaktor uji. Pada tahap ini dilakukan analisis jumlah koloni bakteri pada konsentrasi kromium yang sama dengan penambahan volume biakan yang berbeda. Volume biakan bakteri yang digunakan dalam % v/v adalah 0, 5, 10, dan 15. Konsentrasi kromium yang digunakan adalah 50 mg/L. Adapun hasil konversi konsentrasi kromium tersebut pada tanah tercemar dalam mg/kg adalah 19 mg/kg. Nilai konsentrasi kromium tersebut menurut Notodarmojo (2005) telah melebihi batas maksimal kromium yang diperbolehkan berada di tanah, yaitu sebesar 10 mg/kg tanah tercemar.

Konsentrasi kromium 50 mg/L tersebut lebih rendah daripada konsentrasi kromium yang mampu diterima oleh bakteri *Azotobacter* menurut Pavel et al. (2012) yaitu sekitar 300 mg/L. Pada konsentrasi kromium 50 mg/L tersebut dapat dilihat pengaruh penambahan volume bakteri terhadap jumlah bakteri yang mampu hidup di tanah tercemar kromium saat pertumbuhannya masih sangat baik.

Pada penelitian pendahuluan ini digunakan reaktor uji berupa labu Erlenmeyer 250 mL. Massa tanah pasir yang digunakan di masing-masing reaktor sebesar 100 g. Reaktor uji ditempatkan di *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 24 jam. Analisis jumlah koloni bakteri pada masing-masing reaktor dilakukan dengan metode CFU (*Colony Forming Unit*). Analisis jumlah koloni bakteri dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu pada jam ke 0 dan jam ke 24. Volume penambahan bakteri yang memiliki hasil paling optimum digunakan sebagai volume penambahan bakteri pada reaktor uji penyisihan logam kromium. Gambaran pelaksanaan penelitian pendahuluan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pelaksanaan Penelitian Pendahuluan

3.8 Uji Penyisihan Logam Kromium

Uji penyisihan logam kromium ini merupakan penelitian utama yang digunakan untuk menentukan persentase penyisihan kromium pada tanah tercemar. Uji ini juga digunakan untuk menentukan pengaruh konsentrasi kromium dan jumlah penambahan bakteri *Azotobacter* dalam proses penyisihan kromium. Metode yang digunakan mengacu pada Hardiani et al. (2011), Jeyasingh dan Philip (2005) yang telah disesuaikan.

Pada tahap ini, parameter yang diuji adalah total kromium, jumlah koloni bakteri, pH, suhu, dan kelembaban tanah. Analisis beberapa parameter tersebut digunakan untuk menunjang pembahasan tentang hasil penyisihan kromium.

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah konsentrasi logam kromium dalam tanah pasir yang besarnya dapat dilihat pada Tabel 3.1. Penentuan variasi konsentrasi logam kromium mengacu pada tingkat resistensi bakteri *Azotobacter* terhadap logam kromium dan batas maksimal kromium dalam tanah. Pavel et al. (2012) menyatakan bahwa bakteri *Azotobacter* resisten terhadap kromium dengan konsentrasi sekitar 300 mg/L. Konsentrasi tersebut apabila dikonversi dalam mg/kg tanah tercemar setara dengan 114 mg/kg. Adapun besarnya logam kromium maksimal dalam tanah menurut Notodarmojo (2005) adalah 10 mg/kg.

Variabel lain yang digunakan adalah penambahan volume biakan bakteri. Bakteri yang ditambahkan adalah bakteri *Azotobacter* dengan nilai OD sebesar 0,5 (Purwanti et al., 2015). Besarnya volume biakan bakteri yang ditambahkan adalah volume optimum pada hasil penelitian pendahuluan. Perlakuan pada masing-masing reaktor berdasarkan variabel penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perlakuan antara Variasi Konsentrasi Kromium dan Volume Biakan Bakteri

Konsentrasi Kromium	Volume Biakan Bakteri	
	V1	V2
C1	C1V1	C1V2
C2	C2V1	C2V2
C3	C3V1	C3V2

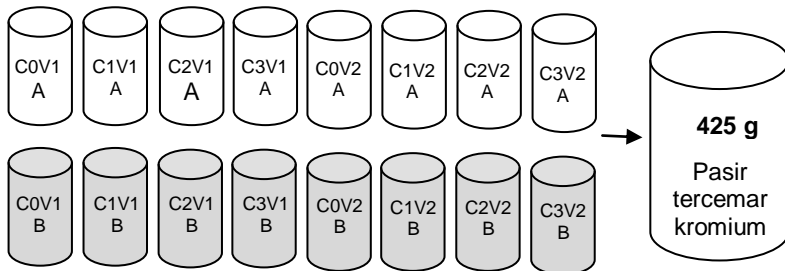
Keterangan:

- C = Konsentrasi kromium dalam tanah pasir
- C1 = 50 mg/L larutan CrCl_3 = 19 mg/kg tanah tercemar
- C2 = 75 mg/L larutan CrCl_3 = 29 mg/kg tanah tercemar
- C3 = 100 mg/L larutan CrCl_3 = 38 mg/kg tanah tercemar
- V = Volume biakan bakteri *Azotobacter*
- V1 = Tanpa penambahan biakan bakteri (reaktor P)
- V2 = Volume bakteri hasil penelitian pendahuluan (reaktor A)

Kontrol 1 = tanpa penambahan larutan CrCl_3 dan tanpa bakteri (C0V1)

Kontrol 2 = tanpa penambahan larutan CrCl_3 dengan bakteri (C0V2)

Berdasarkan Tabel 3.1 diketahui jumlah reaktor uji yang dibutuhkan adalah 6 buah dan 2 reaktor kontrol. Penelitian ini dilakukan secara duplo sehingga jumlah reaktor menjadi 16 buah. Pada tahap penelitian ini, reaktor uji berupa toples kaca dengan kapasitas 1000 mL. Massa tanah pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 425 gram. Gambar reaktor uji yang digunakan pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Reaktor Uji

Selama proses uji penyisihan logam kromium, dilakukan pengadukan tanah dalam reaktor uji sehari sekali. Hal tersebut dilakukan agar kondisi tanah tetap aerobik, sesuai dengan kondisi lingkungan hidup bakteri *Azotobacter*. Uji penyisihan logam kromium dilakukan selama 14 hari sesuai dengan Jeyasingh dan Philip (2005) yang telah disesuaikan. Tahap penyiapan reaktor uji, pembuatan tanah tercemar, dan inokulasi bakteri pada tanah tercemar secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.9 Uji Parameter

Parameter yang diuji pada penelitian ini, antara lain: total kromium, jumlah koloni bakteri, pH, suhu, dan kelembaban tanah.

1. Uji total kromium

Parameter total kromium diuji sebanyak 2 kali, yaitu di awal dan di akhir proses uji penyisihan logam kromium. Parameter total kromium dianalisis di Laboratorium Tim Afiliasi dan Konsultasi Industri, Teknik Kimia ITS dengan metode AAS. Uji kandungan total kromium ini digunakan sebagai dasar penentuan besarnya tingkat penyisihan kromium oleh bakteri *Azotobacter*. Tahap ekstraksi zat pencemar inorganik dalam tanah tercemar kromium sebelum analisis dengan metode AAS secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

2. Uji jumlah koloni bakteri

Analisis jumlah koloni bakteri dilakukan sebanyak 3 kali yaitu: di awal, tengah, dan akhir proses uji penyisihan logam kromium. Analisis dilakukan dengan metode CFU (*Colony Forming Unit*) dengan pengenceran suspensi secara bertingkat. Pada analisis ini jumlah koloni yang terhitung dapat dianggap sebagai jumlah bakteri yang hidup. Tahap analisis jumlah koloni bakteri secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

3. Uji nilai pH

Parameter nilai pH dianalisis pada awal perlakuan dan setiap 2 hari sekali. Nilai pH diuji dengan menggunakan pH meter tanah. pH meter yang digunakan berasal dari Laboratorium Remediasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

4. Uji suhu

Analisis suhu pada masing-masing sampel dilakukan pada awal perlakuan dan setiap 2 hari sekali. Pengukuran suhu sampel dilakukan dengan menggunakan termometer dari Laboratorium Remediasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

5. Uji kelembaban tanah

Kelembaban tanah diukur pada awal perlakuan dan setiap 2 hari sekali. Pengukuran kelembaban tanah sampel dilakukan dengan menggunakan *moisture meter* dari Laboratorium Remediasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

3.10 Hasil dan Pembahasan

Pada sub bab ini, seluruh hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, maupun bentuk deskriptif. Data hasil penelitian yang dibahas pada sub bab ini, antara lain:

1. Analisis pengaruh penambahan bakteri *Azotobacter* terhadap efisiensi penyisihan logam kromium.
2. Analisis persentase penyisihan logam kromium pada tanah tercemar oleh bakteri *Azotobacter*.
3. Analisis nilai pH, suhu, dan kelembaban tanah selama proses uji penyisihan logam kromium.
4. Analisis jumlah bakteri yang hidup selama proses uji penyisihan logam kromium melalui metode CFU.

Pembahasan hasil penelitian juga diacu dari hasil penelitian terdahulu, sehingga didapatkan metode penyisihan logam kromium yang lebih efisien.

3.11 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran disusun berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan. Kesimpulan yang diberikan merupakan jawaban dari rumusan masalah dan tujuan penelitian. Kesimpulan pada penelitian ini memberikan gambaran tentang pengaruh penambahan bakteri *Azotobacter* terhadap penyisihan logam kromium. Kesimpulan penelitian ini juga memberikan nilai efisiensi penyisihan paling tinggi dari bakteri *Azotobacter*. Saran diberikan untuk penelitian selanjutnya, sehingga dapat mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan efisiensi penelitian.

BAB 4

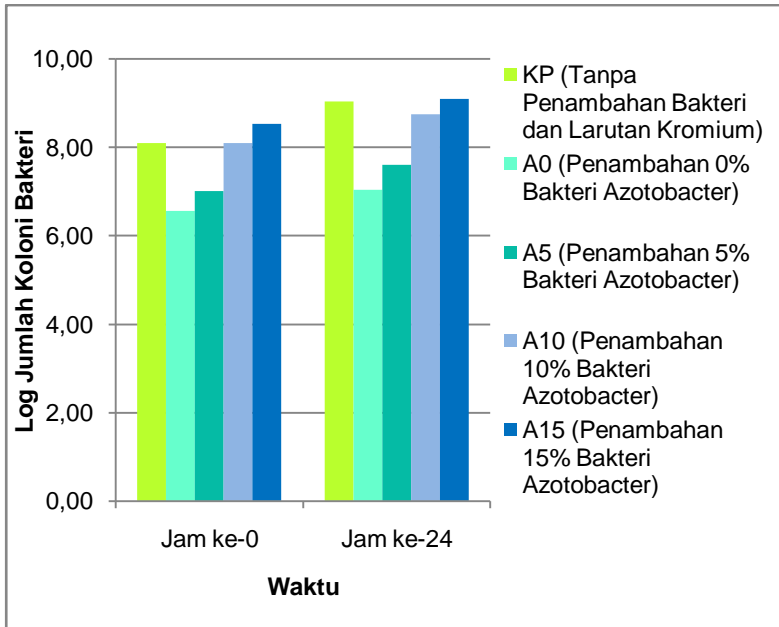
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Tahap penelitian pendahuluan ini dilakukan untuk menentukan volume penambahan bakteri *Azotobacter* yang digunakan pada tahap uji penyisihan logam kromium. Pada tahap ini, bakteri *Azotobacter* ditambahkan ke dalam 100 gram pasir yang mengandung 50 mg/L kromium dengan volume yang berbeda-beda. Konsentrasi kromium dalam tanah pasir tersebut setara dengan 19 mg/kg tanah tercemar. Jumlah reaktor uji pada penelitian pendahuluan adalah 4 buah. Penambahan bakteri *Azotobacter* ke dalam masing-masing reaktor uji dalam v/v, yaitu: 0%, 5%, 10%, dan 15% dari volume bulk density tanah pasir. Reaktor uji tersebut selanjutnya disebut sebagai reaktor A0, A5, A10, dan A15. Reaktor kontrol berupa reaktor yang berisi pasir tanpa penambahan bakteri *Azotobacter* dan larutan kromium. Kode reaktor kontrol pada penelitian pendahuluan ini adalah KP.

Analisis jumlah koloni bakteri pada masing-masing reaktor dilakukan dengan metode CFU. Perhitungan jumlah koloni bakteri dilakukan pada saat jam ke-0 dan jam ke-24. Pengamatan jumlah koloni bakteri dalam waktu 24 jam tersebut merujuk pada penelitian Balamurungan et al. (2014). Hasil dari tahap penelitian ini ditampilkan dalam bentuk grafik batang. Grafik tersebut menunjukkan jumlah koloni bakteri yang bertahan hidup di dalam reaktor uji. Grafik hasil perhitungan jumlah koloni bakteri di reaktor uji dapat dilihat pada Gambar 4.1. Adapun hasil perhitungan dan pengamatan jumlah koloni bakteri dalam reaktor uji pendahuluan dapat dilihat pada Lampiran 5 dan Lampiran 6.

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa jumlah koloni bakteri pada reaktor KP (kontrol) yang tidak ditambah larutan kromium memiliki jumlah koloni bakteri paling besar. Besarnya log jumlah koloni bakteri di reaktor kontrol pada awal dan akhir pengamatan secara berurutan adalah 8,10 dan 9,04. Hal tersebut terjadi karena tidak adanya penambahan beban pencemar di lingkungan tempat hidup bakteri. Penambahan beban pencemar kromium tersebut dapat mempengaruhi proses metabolisme



Gambar 4. 1 Jumlah Koloni Bakteri Penelitian Pendahuluan

bakteri, sehingga ada beberapa jenis bakteri yang tidak mampu bertahan hidup. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian Deepali (2011) yang menyatakan bahwa konsentrasi logam kromium yang ditambahkan ke dalam tanah dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Hal tersebut terjadi karena adanya pembentukan ikatan kompleks antara EPS (eksopolisakarida) dan logam kromium. Pengikatan logam kromium oleh EPS tersebut membuat pemenuhan nutrisi untuk metabolisme bakteri terganggu, karena sebagian EPS tidak dapat digunakan sebagai cadangan makanan (Safita dan Zulaika, 2015).

Pada pengamatan awal sudah terlihat bahwa terdapat perbedaan jumlah koloni bakteri di reaktor kontrol dan reaktor uji. Besarnya log jumlah koloni bakteri di reaktor kontrol dan reaktor uji pada awal pengamatan secara berurutan adalah 8,10 dan 6,56. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Safita dan

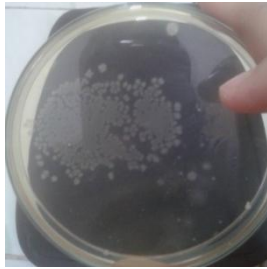
Zulaika (2015) yang menyatakan bahwa logam kromium dapat menghambat laju pertumbuhan bakteri sejak awal penambahan larutan (jam ke-0). Terhambatnya laju pertumbuhan bakteri tersebut dapat dilihat dari pola laju pertumbuhan bakteri reaktor kontrol yang lebih tinggi daripada reaktor uji.

Pada Gambar 4.1 juga dapat dilihat bahwa reaktor uji yang memiliki jumlah koloni bakteri terbesar adalah reaktor A15. Pada reaktor A15 dilakukan penambahan volume bakteri *Azotobacter* paling besar yaitu 15% v/v bulk density pasir. Hal tersebut membuat adanya penambahan jenis bakteri yang hidup dalam tanah pasir, sehingga jumlah koloni bakteri pada reaktor uji bertambah besar. Besarnya log jumlah koloni bakteri di reaktor A15 pada awal dan akhir pengamatan secara berurutan adalah 8,54 dan 9,11. Berdasarkan hasil perhitungan jumlah koloni bakteri dapat dilihat bahwa terdapat kenaikan jumlah koloni bakteri selama 24 jam pengamatan. Hal tersebut dikarenakan adanya kemampuan bakteri untuk bertahan di lingkungan tercemar.

Menurut Safita dan Zulaika (2015), bakteri mampu bertahan terhadap logam kromium karena adanya EPS (eksopolisakarida) yang ada di luar dinding sel bakteri. Semakin besar jumlah bakteri yang hidup maka akan semakin besar jumlah EPS yang dihasilkan. Semakin besar jumlah EPS yang dihasilkan oleh bakteri maka tingkat resistensi bakteri terhadap logam berat kromium akan semakin meningkat. Hal tersebut terjadi karena EPS dapat mengikat logam berat kromium membentuk ikatan yang kompleks. EPS yang terdiri dari monosakarida, lipid, dan protein juga dapat digunakan sebagai cadangan nutrisi bakteri.

Berdasarkan penelitian pendahuluan diketahui bahwa hubungan jumlah koloni bakteri yang hidup dalam reaktor uji dan besarnya volume penambahan bakteri berbanding lurus. Semakin besar penambahan volume bakteri yang ditambahkan maka jumlah bakteri yang hidup dalam reaktor uji semakin besar. Hubungan jumlah koloni bakteri dan volume penambahan bakteri dapat dilihat pada Gambar 4.2.

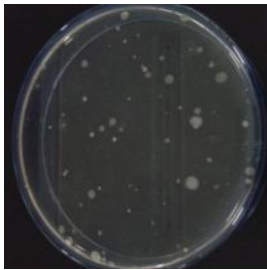
Pada hasil pengamatan CFU jam ke-24 dapat dilihat bahwa bakteri yang tumbuh di reaktor KP (Gambar 4.2a)



(a)



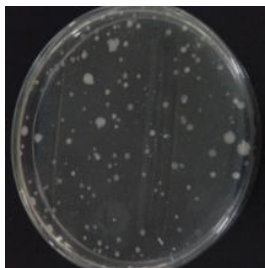
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan CFU Jam ke- 24 (a) Reaktor KP
(b) Reaktor A0 (c) Reaktor A5 (d) Reaktor A10 (e) Reaktor A15

menunjukkan hasil yang berbeda terhadap bakteri di reaktor uji yang ditambah larutan kromium 50 mg/L. Pada reaktor A5, A10, dan A15 (Gambar 4.2c, 4.2d, dan 4.2e) koloni bakteri yang terlihat lebih seragam apabila dibandingkan dengan reaktor A0

(Gambar 4.2b). Menurut Jost et al. (1973), bakteri yang ditambahkan pada media yang memiliki keterbatasan nutrisi akan menimbulkan sifat kompetitif antar bakteri. Hal tersebut terjadi karena adanya upaya masing-masing bakteri untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya sehingga dapat bertahan hidup. Adapun efek yang dapat ditimbulkan karena adanya kompetisi antar bakteri adalah matinya beberapa jenis bakteri dalam reaktor uji, sehingga bentuk koloni yang terlihat semakin seragam.

Beberapa jenis bakteri yang terlihat pada hasil pengamatan CFU reaktor A5, A10, dan A15 memiliki bentuk koloni yang bertepi rata, permukaannya sedikit timbul, dan berwarna putih kekuningan. Ciri-ciri koloni tersebut hampir sama dengan ciri-ciri koloni bakteri *Azotobacter*. Hal tersebut mengindikasikan adanya bakteri *Azotobacter* yang mampu bertahan hidup di dalam reaktor uji. Menurut Hindersah dan Sudirja (2010), bakteri *Azotobacter* adalah bakteri tanah, sehingga bakteri *Azotobacter* yang ditambahkan dapat beradaptasi dan bersimbiosis dengan beberapa jenis bakteri yang terkandung dalam pasir.

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah koloni bakteri jam ke-0 dan jam ke-24 (Lampiran 5), diketahui bahwa pada reaktor uji terjadi peningkatan jumlah koloni bakteri. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama 24 jam pengamatan, bakteri mampu beradaptasi di tanah tercemar kromium. Pada reaktor A15, jumlah koloni bakteri yang bertahan hidup lebih besar apabila dibandingkan dengan jumlah koloni bakteri reaktor uji lainnya. Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan tersebut, maka volume bakteri yang ditambahkan pada reaktor uji penyisihan logam kromium adalah sebesar 15% v/v bulk density pasir.

4.2 Penyisihan Logam Kromium

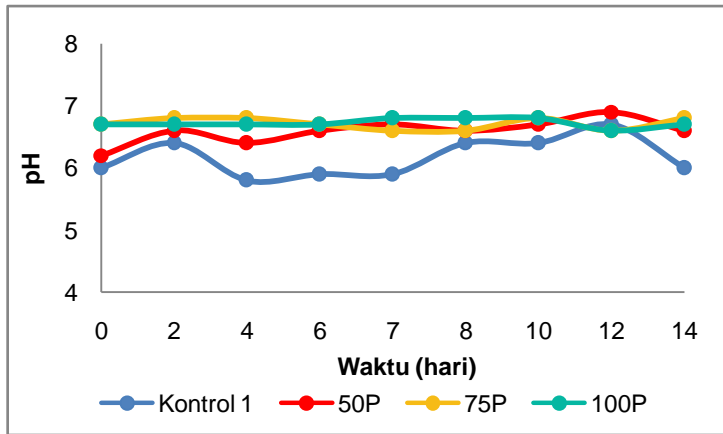
Uji penyisihan logam kromium merupakan tahap utama dalam penelitian ini. Uji penyisihan logam kromium dilakukan selama 14 hari dengan proses pengadukan tanah setiap hari. Reaktor yang digunakan dalam uji penyisihan logam kromium terbuat dari toples kaca dengan kapasitas sebesar 1000 mL. Pada tahap ini, ada 2 buah variasi, yaitu variasi konsentrasi kromium dan variasi penambahan volume bakteri *Azotobacter*.

Berdasarkan penelitian pendahuluan, variasi volume penambahan bakteri *Azotobacter* ke dalam reaktor uji dalam v/v adalah 0% (tanpa penambahan bakteri) dan 15%. Variasi konsentrasi larutan kromium dalam penelitian ini ada 3 macam, yaitu: 50, 75, dan 100 mg/L. Massa tanah yang digunakan pada tahap ini adalah 425 gram, sehingga konsentrasi logam kromium yang ditambahkan dalam pasir setara dengan 19, 29, dan 38 mg/kg. Uji penyisihan logam kromium dilakukan dengan menggunakan duplo reaktor. Berdasarkan perlakuan tersebut, maka jumlah reaktor uji dalam penelitian ini adalah 12 buah dan reaktor kontrol sebanyak 4 buah. Gambar reaktor uji penyisihan logam kromium dapat dilihat pada Lampiran 7. Pada tahap ini dilakukan uji parameter berupa nilai pH, suhu, kelembaban tanah, jumlah koloni bakteri, dan total kromium. Pada tahap penelitian utama ini dapat diperoleh hasil tentang pengaruh penambahan bakteri *Azotobacter* terhadap persentase penyisihan kromium dan besarnya persentase penyisihannya.

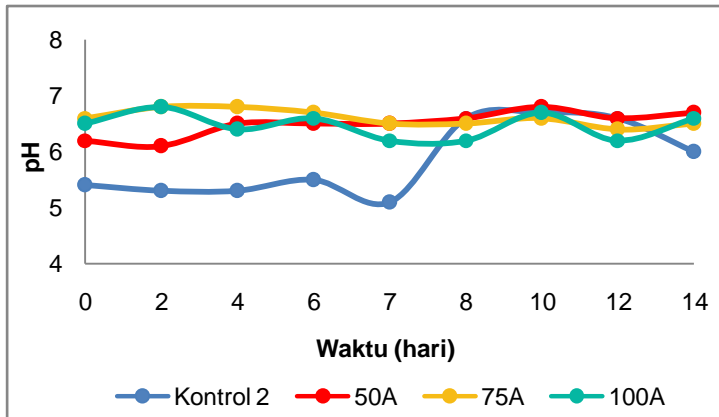
1. pH Tanah

Parameter pH tanah diukur selama 14 hari setiap 2 hari sekali menggunakan pH meter tanah. Hasil pengukuran pH tanah pada reaktor dengan penambahan volume bakteri sebesar 0% dan 15% dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 diketahui bahwa nilai pH tanah di reaktor tanpa penambahan bakteri dan dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter* adalah sekitar 6,1-6,9. Menurut Abat (2006), bakteri *Azotobacter* dapat hidup di lingkungan dengan pH sekitar 4,8-8,5. Wedhastri (2002) juga menyatakan bahwa bakteri *Azotobacter* memiliki sifat yang sensitif terhadap asam. Berdasarkan kedua pernyataan tersebut membuktikan bahwa rentang nilai pH pada reaktor uji masih sesuai dengan kondisi lingkungan bakteri *Azotobacter*.



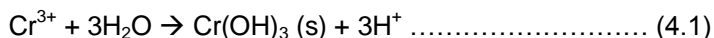
Gambar 4. 3 pH Reaktor Uji Tanpa Penambahan Bakteri *Azotobacter*



Gambar 4. 4 pH Reaktor Uji dengan Penambahan 15% Bakteri *Azotobacter*

Rentang nilai pH reaktor kontrol sekitar 5,1-6,9. Nilai pH pada reaktor kontrol lebih rendah daripada reaktor uji karena tidak ada penambahan larutan kromium. Menurut

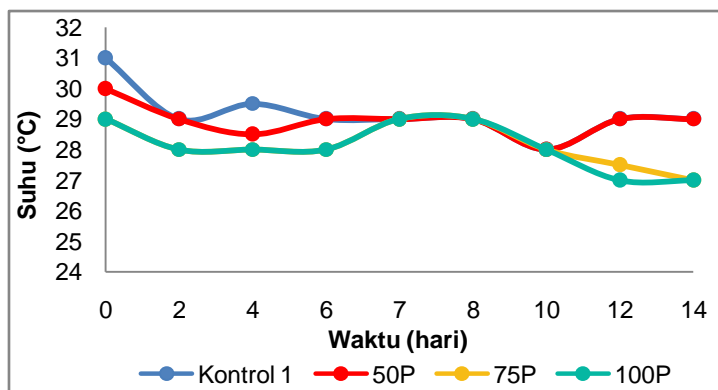
Imai dan Gloyna (1990), reaksi Cr^{3+} apabila berada di air dapat dinyatakan dengan persamaan 4.1.



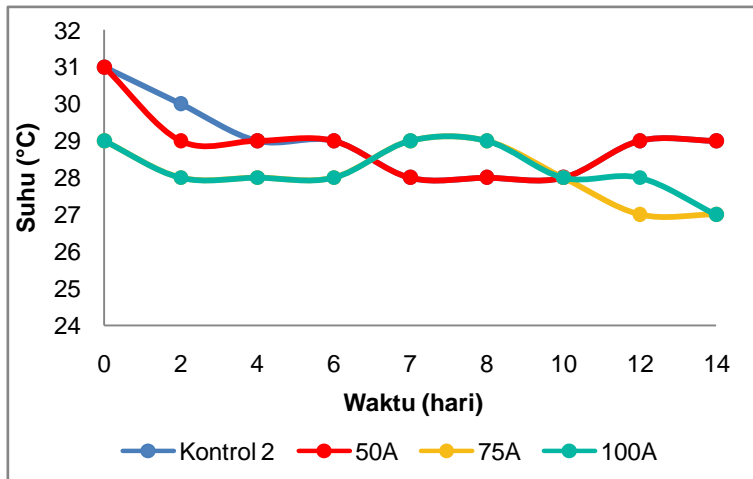
Kromium hidroksida hasil reaksi di atas bersifat amfoterik dan range pH pembentukan presipitatnya adalah pada pH 5-7. Cheng dan Li (2009) juga menyatakan bahwa larutan kromium memiliki pH yang cenderung basa. Hal tersebut menyebabkan nilai pH tanah reaktor uji memiliki nilai yang lebih tinggi daripada reaktor kontrol. Pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, juga diketahui bahwa nilai pH tanah reaktor uji selama pelaksanaan penelitian bersifat fluktuatif. Perubahan nilai pH tanah pada reaktor uji menunjukkan adanya aktifitas bakteri, baik berupa proses pertumbuhan, proses degradasi, maupun fase kematian.

2. Suhu Tanah

Suhu tanah diukur selama 14 hari setiap 2 hari sekali menggunakan termometer. Hasil pengukuran suhu tanah pada reaktor dengan penambahan volume bakteri sebesar 0% (tanpa penambahan) dan 15% dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4. 5 Suhu pada Reaktor Tanpa Penambahan Bakteri *Azotobacter*



Gambar 4. 6 Suhu Reaktor Uji dengan Penambahan 15% Bakteri *Azotobacter*

Berdasarkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 diketahui bahwa suhu tanah di reaktor tanpa penambahan bakteri dan dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter* adalah sekitar 27°C–31°C. Menurut Wedhastri (2002), bakteri *Azotobacter* sensitif terhadap suhu di atas 35°C. Rentang suhu yang terukur dari masing-masing reaktor uji masih sesuai dengan suhu lingkungan tempat hidup bakteri *Azotobacter*. Rentang suhu tanah pada reaktor kontrol adalah sekitar 28°C–31°C.

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, juga diketahui bahwa suhu tanah reaktor uji selama pelaksanaan penelitian bersifat fluktuatif. Perubahan suhu tanah pada reaktor uji terjadi akibat adanya pengaruh kondisi lingkungan tempat reaktor uji tersebut ditempatkan. Hasil pengukuran suhu ruang reaktor uji adalah sekitar 27°C–31°C.

3. Kelembaban Tanah

Parameter kelembaban tanah diukur setiap 2 hari sekali selama 14 hari menggunakan *moisture meter*. Selama pelaksanaan penelitian, hasil pengukuran parameter

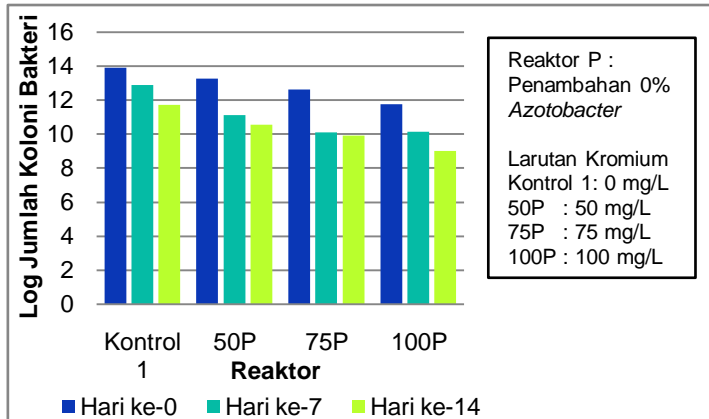
kelembaban tanah tetap menunjukkan nilai 100%. Nilai kelembaban 100% tersebut ditunjukkan dengan kondisi tanah pada reaktor uji yang tetap terlihat basah sampai akhir penelitian. Selama 14 hari pelaksanaan uji penyisihan logam kromium, volume air dalam reaktor mengalami penurunan. Laju penurunan volume air dalam reaktor uji tidak cukup besar, sehingga kelembaban tanah di akhir penelitian masih bernilai 100%.

Menurut Jeyasingh dan Philip (2005), kondisi terbaik dalam bioremediasi adalah kondisi aerobik. Keadaan tanah dalam reaktor uji yang masih basah dinilai dapat memenuhi kriteria aerobik bioremediasi. Hal tersebut terjadi karena rongga pada zat cair lebih besar daripada rongga pada zat padat. Keadaan basah membuat sirkulasi udara di dalam reaktor uji lebih baik daripada saat keadaan kering. Kondisi aerobik reaktor uji juga dapat terjadi karena adanya proses pengadukan tanah yang dilakukan setiap hari selama penelitian utama berlangsung.

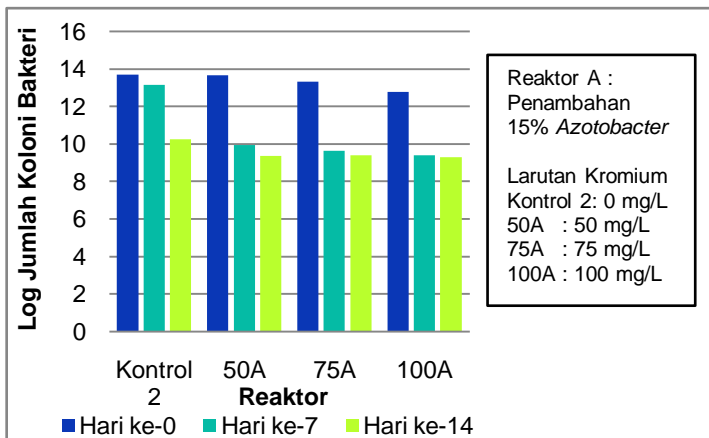
4. Jumlah Koloni Bakteri

Parameter jumlah koloni bakteri dihitung sebanyak 3 kali dengan metode CFU. Pengamatan jumlah koloni bakteri dilakukan pada hari ke-0, ke-7, dan ke-14. Pengamatan jumlah koloni bakteri dilakukan untuk mengetahui jumlah bakteri yang hidup selama proses penyisihan logam kromium dalam tanah tercemar kromium. Hasil pengamatan jumlah koloni bakteri saat uji penyisihan logam kromium dapat dilihat pada Lampiran 8. Adapun hasil perhitungan jumlah koloni bakteri selama uji penyisihan logam kromium dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 diketahui bahwa pada pengamatan awal (hari ke-0), jumlah koloni bakteri terbesar ada pada reaktor dengan penambahan bakteri *Azotobacter* 15% (Reaktor A). Volume penambahan bakteri *Azotobacter* tersebut berpengaruh pada jenis dan jumlah bakteri yang hidup dalam reaktor uji. Pada pengamatan awal diketahui bahwa semakin banyak bakteri yang ditambahkan maka jumlah bakteri yang bertahan hidup akan semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan hasil



Gambar 4. 7 Jumlah Koloni Bakteri Reaktor Uji Tanpa Penambahan Bakteri *Azotobacter*



Gambar 4. 8 Jumlah Koloni Bakteri Reaktor Uji dengan Penambahan 15% Bakteri *Azotobacter*

pengamatan jumlah koloni bakteri saat uji pendahuluan yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

Menurut Safita dan Zulaika (2015), semakin besar jumlah bakteri yang hidup maka akan semakin besar jumlah EPS yang dihasilkan. Semakin besar jumlah EPS yang

dihasilkan oleh bakteri maka tingkat resistensi bakteri terhadap logam berat kromium akan semakin meningkat. Pernyataan tersebut mendukung hasil pengamatan awal jumlah koloni bakteri, di mana jumlah koloni terbesar ada pada reaktor dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter*.

Pada pengamatan awal juga terlihat bahwa terdapat perbedaan jumlah koloni bakteri di reaktor kontrol dan reaktor uji. Jumlah koloni bakteri yang hidup di reaktor kontrol lebih besar daripada jumlah bakteri di reaktor uji. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Safita dan Zulaika (2015) yang menyatakan bahwa logam kromium dapat menghambat laju pertumbuhan bakteri sejak awal penambahan larutan kromium (jam ke-0). Terhambatnya laju pertumbuhan bakteri tersebut dapat dilihat dari pola laju pertumbuhan bakteri reaktor kontrol yang lebih tinggi daripada reaktor uji. Semakin besar konsentrasi kromium yang ditambahkan, maka pola laju pertumbuhan bakteri pada reaktor uji semakin rendah. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengamatan awal, di mana reaktor dengan penambahan 100 mg/L larutan kromium memiliki jumlah koloni bakteri yang paling kecil. Penurunan jumlah koloni bakteri pada reaktor dengan kromium konsentrasi tinggi tersebut dapat terjadi karena ada lebih banyak EPS yang membentuk ikatan kompleks dengan logam kromium. Pembentukan ikatan kompleks tersebut dapat mengganggu proses penyerapan nutrisi untuk metabolisme bakteri, sehingga beberapa jenis bakteri tidak mampu bertahan hidup.

Selama 14 hari pelaksanaan penelitian, jumlah koloni bakteri yang hidup pada reaktor uji mengalami penurunan. Rata-rata penurunan jumlah koloni bakteri pada reaktor P tanpa penambahan bakteri *Azotobacter* adalah 16% dari jumlah koloni bakteri hasil pengamatan awal. Rata-rata penurunan jumlah koloni bakteri pada reaktor A dengan 15% penambahan bakteri *Azotobacter* adalah 28% dari jumlah koloni bakteri hasil pengamatan awal. Pada pengamatan akhir (hari ke-14), jumlah koloni bakteri terbesar ada pada reaktor dengan penambahan bakteri *Azotobacter* 0% (Reaktor P).

Pada reaktor P, penurunan jumlah bakteri diindikasikan karena adanya penurunan jumlah nutrisi dalam tanah pasir, sehingga ada beberapa bakteri yang tidak dapat bertahan hidup. Penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih besar terjadi di reaktor A dengan penambahan bakteri *Azotobacter* 15%. Penambahan bakteri dalam reaktor uji tanpa penambahan nutrisi dapat meningkatkan sifat kompetitif bakteri dalam pemenuhan kebutuhan nutrisi. Hal tersebut mengakibatkan penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih besar pada reaktor A. Hasil pengamatan tersebut sesuai dengan hasil penelitian Jost et al. (1973) yang menyatakan bahwa penambahan bakteri pada media dengan nutrisi terbatas akan menimbulkan sifat kompetitif antar bakteri.

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 juga dapat diketahui bahwa hubungan konsentrasi kromium yang ditambahkan berbanding terbalik dengan jumlah koloni bakteri yang bertahan hidup dalam reaktor uji. Hal tersebut terjadi karena adanya peningkatan beban pencemar dalam tanah pasir. Peningkatan beban pencemar kromium tersebut dapat mempengaruhi proses metabolisme bakteri, sehingga ada beberapa jenis bakteri yang tidak mampu bertahan hidup. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian Deepali (2011) yang menyatakan bahwa konsentrasi logam kromium yang ditambahkan ke dalam tanah dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Semakin tinggi tingkat konsentrasi yang ditambahkan, maka pertumbuhan bakteri akan semakin terhambat dan jumlahnya akan semakin kecil. Safita dan Zulaika (2015) juga menyatakan bahwa terdapat gangguan dalam proses pemenuhan nutrisi oleh bakteri. Hal tersebut dapat terjadi karena lebih banyak EPS yang membentuk ikatan kompleks dengan kromium, sehingga tidak dapat digunakan sebagai cadangan makanan.

Di akhir penelitian, jumlah koloni bakteri terbesar ada pada reaktor 50P, yaitu reaktor dengan penambahan larutan kromium 50 mg/L (19 mg/kg) dan penambahan volume bakteri *Azotobacter* 0%. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi larutan kromium dan

volume bakteri *Azotobacter* yang ditambahkan ke dalam reaktor uji dapat mempengaruhi jumlah koloni bakteri.

5. Total Kromium

Pada penelitian ini konsentrasi larutan kromium yang ditambahkan dalam reaktor uji adalah 50, 75, dan 100 mg/L. Larutan kromium tersebut ditambahkan dalam reaktor uji sampai nilai *bulk density* tanah pasir. Apabila konsentrasi larutan kromium tersebut dikonversi ke dalam bentuk beban pencemar, maka besarnya variasi beban kromium dalam reaktor uji adalah 19, 29, dan 38 mg/kg.

Parameter total kromium dianalisis sebanyak 2 kali, yaitu di awal dan akhir penelitian. Analisis total kromium dilakukan dengan metode AAS, yang sebelumnya dilakukan ekstraksi logam kromium dari tanah tercemar menggunakan *aquaregia*. Uji total kromium dilakukan di Laboratorium Tim Afiliasi dan Konsultasi Industri Teknik Kimia ITS Surabaya. Hasil analisis total kromium dapat dilihat pada Lampiran 9.

Analisis parameter total kromium dilakukan untuk mengetahui persentase penyisihan total kromium pada reaktor uji akibat adanya penambahan bakteri *Azotobacter*. Hasil analisis total kromium dikonversi ke dalam satuan beban pencemar (mg/kg). Contoh perhitungan beban pencemar pada reaktor uji dapat dilihat pada Lampiran 10. Hasil perhitungan beban pencemar logam kromium pada reaktor uji dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Logam Berat Kromium

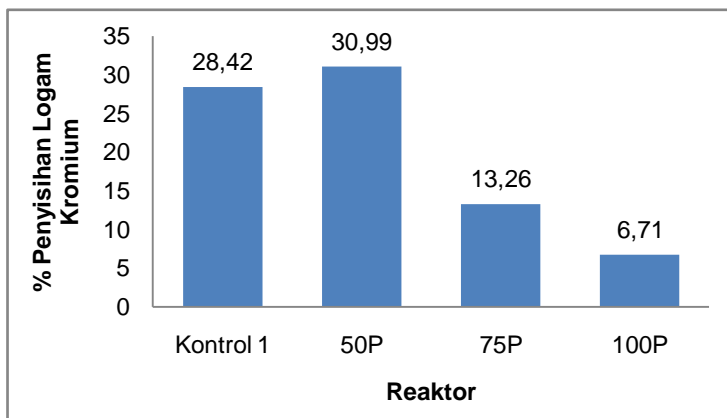
Reaktor	Konsentrasi Larutan Cr		Hari ke-0	Hari ke-14	% Penyisihan
	mg/L	mg/kg	(mg/kg)	(mg/kg)	
	Tanpa Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i>				
Kontrol 1	0	0	21,50	15,39	28,42
50P	50	19	35,50	24,50	30,99
75P	75	29	36,82	31,93	13,26
100P	100	38	45,02	42,00	6,71

Reaktor	Konsentrasi Larutan Cr		Hari ke-0	Hari ke-14	% Penyisihan
	mg/L	mg/kg	(mg/kg)	(mg/kg)	
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 15%					
Kontrol 2	0	0	22,00	21,68	1,47
50A	50	19	34,98	27,00	22,82
75A	75	29	35,37	33,85	4,29
100A	100	38	46,55	41,39	11,08

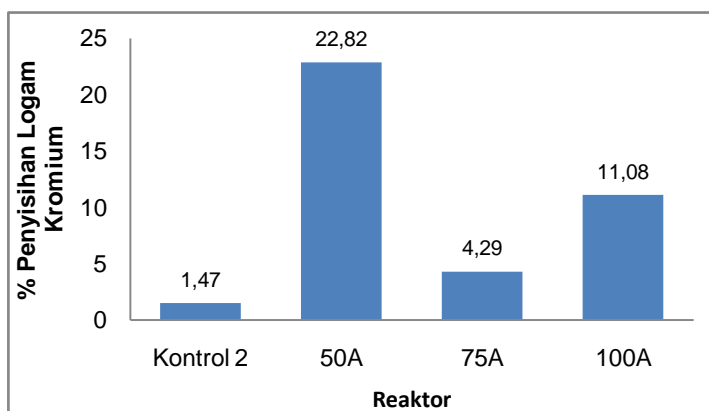
Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa pada reaktor kontrol yang tidak ditambah larutan kromium juga terdapat kandungan logam kromium. Besarnya beban pencemar kromium pada tanah pasir reaktor kontrol adalah 21,50 mg/kg dan 22,00 mg/kg. Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam tanah pasir yang digunakan pada penelitian ini terdapat kandungan logam kromium. Logam kromium dalam tanah pasir dapat berasal dari pencemaran logam kromium pada daerah aliran sungai tempat asal tanah pasir tersebut. Kemungkinan adanya pencemaran yang menjadi penyebab adanya kandungan kromium dalam tanah pasir juga pernah diungkapkan oleh Said dkk (2009). Pada penelitiannya Said dkk. (2009) menyatakan bahwa besarnya konsentrasi kromium yang terkandung dalam sedimen muara sungai Matangpondo Palu sekitar 10,4-62,0 mg/kg. Logam kromium yang terkandung dalam sedimen tersebut berasal dari aktivitas alamiah dan aktivitas antropogenik.

Pada Tabel 4.1 juga dapat diketahui bahwa beban pencemar dalam reaktor uji mengalami penurunan selama 14 hari penelitian. Besarnya persentase penyisihan beban pencemar kromium dalam reaktor uji dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa persentase penyisihan beban pencemar kromium terbesar dalam reaktor P dengan penambahan 0% bakteri *Azotobacter* ada pada reaktor 50P. Besarnya persentase penyisihan beban kromium pada reaktor 50P adalah



Gambar 4. 9 Persentase Penyisihan Beban Pencemar Kromium pada Reaktor Tanpa Penambahan Bakteri *Azotobacter*



Gambar 4. 10 Persentase Penyisihan Beban Pencemar Kromium pada Reaktor dengan Penambahan 15% Bakteri *Azotobacter*

30,99%. Besarnya tingkat penyisihan kromium pada reaktor P semakin menurun seiring bertambahnya konsentrasi larutan kromium yang ditambahkan dalam reaktor uji. Besarnya tingkat penyisihan pada masing-masing reaktor dipengaruhi oleh jumlah bakteri yang hidup dalam reaktor uji.

Besarnya jumlah bakteri yang hidup dalam reaktor uji dapat dilihat pada Gambar 4.7. Berdasarkan Gambar 4.7 diketahui bahwa jumlah bakteri terbesar ada di reaktor 50P. Jumlah bakteri di reaktor uji semakin kecil seiring dengan bertambah tingginya konsentrasi kromium yang ditambahkan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hubungan jumlah koloni bakteri dan persentase penyisihan logam kromium adalah berbanding lurus. Semakin besar jumlah koloni bakteri dalam reaktor P, maka persentase penyisihan logam kromiumnya akan semakin besar.

Dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis terhadap jenis bakteri yang hidup dalam tanah pasir. Adapun pengaruh jumlah koloni bakteri terhadap persentase penyisihan logam kromium dapat diakibatkan oleh adanya proses biosorpsi atau metabolisme bakteri yang melibatkan logam kromium. Semakin besar jumlah bakteri yang hidup dalam reaktor uji, maka semakin besar pula logam kromium yang terlibat dalam proses biosorpsi maupun metabolisme bakteri.

Dalam penelitiannya Safita dan Zulaika (2015) menyatakan bahwa proses biosorpsi oleh EPS pada bakteri gram negatif memiliki batasan tertentu. Hal tersebut dikarenakan adanya batasan ion negatif yang terdapat dalam EPS sebagai ion pengikat logam berat. Semakin besar konsentrasi logam kromium yang ditambahkan maka daya ikat EPS terhadap ion positif logam kromium akan semakin kecil, sehingga persentase penyisihan logam kromium menurun.

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa persentase penyisihan beban pencemar kromium terbesar dalam reaktor A dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter* ada pada reaktor 50A. Besarnya persentase penyisihan beban kromium pada reaktor 50A adalah 22,82%. Besarnya tingkat penyisihan kromium pada reaktor A mengalami penurunan di reaktor 75A dan 100A. Besarnya penyisihan beban pencemar kromium reaktor 100A lebih besar daripada reaktor 75A. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan jumlah dan jenis bakteri yang hidup dalam reaktor uji.

Dalam penelitian ini tidak dianalisis kandungan bakteri dalam tanah pasir, sehingga tidak diketahui seberapa besar jumlah bakteri gram positif dan negatif. Pada reaktor A terdapat penambahan 15% bakteri *Azotobacter* yang merupakan bakteri gram negatif. Penambahan bakteri *Azotobacter* membuat adanya kompetisi bakteri dalam pemenuhan nutrisi, sehingga jumlah bakteri menurun. Berdasarkan Gambar 4.8, jumlah bakteri terbesar ada pada reaktor 50A. Pada reaktor 50A tersebut terjadi proses penyisihan logam kromium paling besar.

Penambahan bakteri *Azotobacter* yang berupa gram negatif membuat jumlah EPS meningkat. Kemampuan EPS dalam proses pengikatan logam kromium dipengaruhi oleh banyaknya ion negatif dalam EPS sebagai ion pengikat. Semakin besar konsentrasi kromium maka persentase penyisihan logam kromium akan semakin kecil. Fungsi EPS sebagai ion pengikat logam kromium juga dapat berkurang karena adanya pemanfaatan EPS sebagai cadangan nutrisi bakteri dalam proses metabolisme.

Berdasarkan Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa persentase penyisihan logam kromium reaktor P lebih besar daripada reaktor A. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya pengaruh jumlah bakteri dalam reaktor uji. Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa jumlah koloni bakteri reaktor P lebih besar daripada reaktor A.

Pada pengamatan jumlah koloni bakteri hari ke-7 (Gambar 4.8), reaktor A yang ditambah 15% bakteri *Azotobacter* mengalami penurunan sekitar 20% dari awal pengamatan. Persentase penurunan jumlah bakteri tersebut lebih besar daripada persentase penurunan di reaktor P yaitu sekitar 15% (Gambar 4.7). Penurunan jumlah bakteri di reaktor dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter* terjadi karena bakteri *Azotobacter* hasil pengembangbiakan di laboratorium masih beradaptasi dengan lingkungannya yang baru, sehingga dimungkinkan terjadi penurunan jumlah bakteri. Pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian Mrozik dan Piotrowska-Seget (2010) yang menyatakan bahwa dalam proses bioaugmentasi, bakteri yang

ditambahkan dalam reaktor uji akan beradaptasi, sehingga jumlahnya menurun.

Besarnya penurunan jumlah bakteri yang ada dalam reaktor uji tersebut mempengaruhi proses penyisihan logam kromium. Rata-rata penyisihan logam kromium pada reaktor P dan reaktor A secara berturut-turut adalah 17% dan 13%. Berdasarkan rata-rata persentase penyisihan logam kromium tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan bakteri *Azotobacter* tidak berpotensi meningkatkan persentase penyisihan logam kromium.

Hasil tersebut bertentangan dengan hipotesis awal yang menyatakan bahwa proses penambahan bakteri *Azotobacter* diperkirakan dapat meningkatkan persentase penyisihan logam kromium. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih besar pada reaktor dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter*. Penurunan jumlah bakteri tersebut diperkirakan terjadi karena adanya sifat kompetisi yang lebih besar di reaktor A dalam proses pemenuhan nutrisi bakteri. Jumlah bakteri yang lebih kecil tersebut akan mengurangi jumlah logam kromium yang terlibat dalam proses biosorpsi dan metabolisme bakteri, sehingga persentase penyisihannya lebih kecil.

Dalam penelitian ini pengaruh bakteri *Azotobacter* secara individu terhadap proses penyisihan logam kromium belum dapat dipastikan karena adanya kehadiran bakteri pasir dalam reaktor uji. Pengaruh bakteri *Azotobacter* secara individu terhadap proses penyisihan logam kromium tersebut dapat diamati dengan menghilangkan kehadiran bakteri pasir melalui proses sterilisasi tanah pasir. Adapun hasil analisisnya dapat digunakan untuk memastikan peran bakteri *Azotobacter* dalam proses penyisihan logam kromium pada tanah tercemar kromium.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, maka kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persentase penyisihan beban pencemar kromium terbesar pada reaktor P tanpa penambahan bakteri *Azotobacter* adalah 30,99%. Persentase penyisihan beban pencemar kromium terbesar pada reaktor A dengan penambahan bakteri *Azotobacter* 15% adalah 22,82%.
2. Penambahan volume bakteri *Azotobacter* pada reaktor uji tidak berpotensi meningkatkan persentase penyisihan logam kromium.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan berkaitan dengan penelitian ini, antara lain:

1. Adanya kandungan logam kromium pada tanah pasir membuat beban pencemar yang harus disisihkan pada penelitian ini melebihi variasi beban pencemar yang telah ditentukan. Berkaitan dengan hal tersebut, maka perlu dilakukan analisis awal total kromium pada tanah pasir, sehingga penambahan larutan kromium dapat disesuaikan dan tidak melebihi variasi beban yang telah ditentukan.
2. Dalam penelitian ini belum dapat diketahui pengaruh bakteri *Azotobacter* secara individu dalam proses penyisihan logam kromium. Hal tersebut perlu dibuktikan dengan adanya uji penyisihan logam kromium dengan bakteri *Azotobacter* pada tanah pasir yang telah disterilisasi. Adapun hasil analisisnya dapat digunakan untuk memastikan pengaruh penambahan bakteri *Azotobacter* dalam proses penyisihan logam kromium pada tanah tercemar kromium.
3. Pada pengamatan jumlah koloni bakteri hari ke-7, reaktor A yang ditambah 15% bakteri *Azotobacter* mengalami penurunan sekitar 20% dari awal pengamatan. Persentase penurunan jumlah bakteri tersebut lebih besar daripada persentase penurunan di reaktor P yaitu sekitar 15%. Hal

tersebut diperkirakan dapat terjadi karena adanya proses adaptasi bakteri *Azotobacter* terhadap lingkungannya yang baru. Berkaitan dengan hal tersebut, maka perlu adanya proses aklimatisasi bakteri *Azotobacter* terhadap logam kromium sebelum proses penyisihan logam kromium.

4. Selama 14 hari pengamatan, terjadi penurunan jumlah koloni bakteri. Penurunan jumlah bakteri terbesar ada di reaktor A dengan penambahan 15% bakteri *Azotobacter*. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya kompetisi dalam pemenuhan nutrisi bakteri. Berkaitan dengan hal tersebut, maka dapat dilakukan penambahan nutrisi pada reaktor uji untuk mengurangi kompetisi antar bakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abat, B. 2006. *Growth of Agriculturally Important Pseudomonas sp and Azotobacter chroococcum on Beer Waste and Observation of Their Survival in Peat*. Turki: Middle East Technical University.
- Alfian, Z. 2007. *Pengaruh pH dan Penambahan Asam terhadap Penentuan Kadar Unsur Krom dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom*. Jurnal Sains Kimia, 11 (1), hal 37-41.
- Apte, A. D., Verma, S., Tare, V., dan Bose, P. 2005. *Oxidation of Cr (III) in Tannery Sludge to Cr (VI): Field Observations and Theoretical Assessment*. Journal of Hazardous Materials, 121 (1-3), hal 215-222.
- Balamurugan, D., Udayasooriyar, C., dan Kamaladevi, B. 2014. *Chromium (VI) Reduction by Pseudomonas putida and Bacillus subtilis Isolated from Contaminated Soils*. International Journal of Environmental Sciences, 5(3): hal 522-529.
- Bielicka, A., Bojanowska, I., dan Wiśniewski. 2005. *Two Faces of Chromium-Pollutant and Bioelement*. Polish Journal of Environmental Studies, 14 (1), hal 5-10.
- Cervantes, C., Campos-Garcia, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, J. C., dan Moreno-Sánchez, R. 2001. *Interactions of Chromium with Microorganisms and Plants*. FEMS Microbiology Reviews, 25 (3), hal 335-347.
- Cheng, G. dan Li, X. 2009. *Bioreduction of Chromium (VI) by Bacillus sp. Isolated from Soils of Iron Mineral Area*. Journal of Soil Biology, 45 (5), hal 483-487.
- Deepali. 2011. *Bioremediation of Chromium (VI) from Textile Industry's Effluent and Contaminated Soil Using Pseudomonas putida*. Journal of Energy and Environment, 2 (1), hal 24-31.
- Downing, J. H., Deeley, P. D., dan Fichte, R. 2000. *Chromium and Chromium Alloys*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.

- Erni dan Regina, H. 2011. *Biosorpsi Kadmium dan Komposisi Eksopolisakarida Azotobacter sp. pada Dua Konsentrasi CdCl₂*. Agriminal, 1 (1), hal 33-37.
- Evelyne, R. J. dan Ravinskar, V. 2014. *Bioremediation of Chromium Contamination – A Review*. Journal of Research in Earth and Environmental Science, 2 (6), hal 20-26.
- Fendorf, S. E. dan Li, G. 1996. *Kinetics of Chromate Reduction by Ferrous Iron*. Journal of Environmental Science and Technology, 30 (5), hal 1614-1617.
- Gradova, N. B., Gornova, I. B., Eddaudi, R., dan Salina, R. N. 2003. *Use of Bacteria of the Genus Azotobacter for Bioremediation of Oil-Contaminated Soils*. Journal of Applied Biochemistry and Microbiology, 39 (3), hal 279-281.
- Gunasekaran, P., Muthukrishnan, J., dan Rajendran, P. 2003. *Microbes in Heavy Metal Remediation*. Indian Journal of Experimental Biology, 41 (1), hal 935-944.
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., dan Sugesty, S. 2011. *Bioremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses Deinking*. Jurnal Selulosa, 1 (1), hal 31-41.
- Hindersah, R. dan Sudirja, R. 2010. *Suhu dan Waktu Inkubasi untuk Optimasi Kandungan Eksopolisakarida dan Fitohormon Inokulan Cair Azotobacter sp. LKM6*. Jurnal Natur Indonesia, 13(1), hal 67-71.
- Imai, A. dan Gloyna, E. F. 1990. *Effects of pH and Oxidation State of Chromium on the Behavior of Chromium in the Activated Sludge Process*. Journal of Water Research. 24 (9), hal 1143-1150.
- Imron, M. F. 2016. *Uji Kemampuan Bakteri Azotobacter S8 dan Bacillus subtilis untuk Menyisihkan Trivalent Chromium (Cr³⁺) pada Limbah Cair*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya.
- James, B. R. 2002. *Chemical Transformations of Chromium in Soils*. Journal of Chem. Environmental, 6 (2), hal 46-48.
- Jeyasingh, J. dan Philip, L. 2005. *Bioremediation of Chromium Contaminated Soil: Optimization of Operating Parameters*

- Under Laboratory Conditions*. Journal of Hazardous Materials, 118 (1-3), hal 113-120.
- Jost, J. L., Drake, J. F., Fredrickson, A. G., dan Tsuchiya, H. M. 1973. *Interactions of Tetrahymena pyriformis, Escherichia coli, Azotobacter vinelandii, and Glucose in a Minimal Medium*. Journal of Bacteriology, 113 (2), hal 834-840.
- Kotaś, J. dan Stasicka, Z. 2000. *Chromium Occurrence in the Environment and Methods of Its Speciation*. Journal of Environmental Pollution, 107 (3), hal 263-283.
- Kubyskhina, G., Zupančič, B., Štukelj, M., Grošelj, D., Marion, L., dan Emri, I. 2011. *The Influence of Different Sterilization Techniques on the Time-Dependent Behavior of Polymides*. Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology. 2 (4), hal 361-368.
- Lloyd, J. R. dan Derek, L. R. 2001. *Microbial Detoxification of Metals and Radionuclides*. Journal of Current Opinion in Biotechnology, 12 (3), hal 248-253.
- Lofrano, G., Aydin, E., Russo, F., Guida, M., Belgiorno, V., dan Meric, S. 2008. *Characterization, Fluxes, and Toxicity of Leather Tanning Bath Chemicals in a Large Tanning District Area (IT)*. Journal of Water, Air, and Soil Pollution: Focus, 8 (5-6), hal 529-542.
- Machmud, M. 2001. *Teknik Penyimpanan dan Pemeliharaan Mikroba*. Buletin Agro Bio 4 (1), hal 24-32.
- Megharaj, M., Avudainayagam, S., dan Naidu, R. 2003. *Toxicity of Hexavalent Chromium and Its Reduction by Bacteria Isolated from Soil Contaminated with Tannery Waste*. Journal of Current Microbiology, 47 (1), hal 51-54.
- Ministry of State for Population and Environmental of Indonesia dan Dalhousie, University Canada. 1992. *Environmental Management in Indonesia*. Report of Soil Quality Standards for Indonesia.
- Mishra, V., Samantaray, D. P., Dash, S. K., Mishra, B. B., dan Swain, R. K. 2010. *Study on Hexavalent Chromium Reduction by Chromium Resistant Bacterial Isolates of Sukinda Mining Area*. Journal of Our Nature, 8 (1), hal 63-71.
- Mrozik, A. Piotrowska-Seget, Z. 2010. *Bioaugmentation as A Strategy for Cleaning Up of Soils Contaminated with*

- Aromatic Compounds*. Journal of Microbiological Research. 165 (5), hal 363-375.
- Mythili, K. dan Karthikeyan, B. 2011. *Bioremediation of Cr (VI) from Tannery Effluent Using Bacillus sp. and Staphylococcus sp.* International Multidisciplinary Research Journal, 1 (6), hal 38-41.
- Notodarmojo. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: ITB Press.
- Pavel, L. V., Diaconu, M., dan Gavrilescu, M. 2012. *Studies of Toxicity of Chromium (VI) and Cadmium (II) on Some Microbial Species*. International Symposium on Biosorption and Bioremediation. Romania.
- Purwanti, I. P., Abdullah, S. R. S., Hamzah, A., Idris, M., Basri, H., Mukhlisin, M., dan Latif, M. T. 2015. *Biodegradation of Diesel by Bacteria Isolated from Sci us mucronatus Rhizosphere in Diesel-Contaminated Sand*. Journal of Advanced Science. 2 (1), hal 140-143.
- Safita, A. dan Zulaika, E. 2015. *Viliabilitas Azotobacter A1a, A5, dan A9 pada Medium Terpapar Logam Berat Cr (VI)*. Jurnal Sains dan Seni ITS, 4 (1), hal 2337-3520.
- Saha, B. dan Orvig, C. 2010. *Biosorbents for Hexavalent Chromium Elimination from Industrial and Municipal Effluents*. Coordination Chemistry Reviews, 254 (23-24), hal 2959-2972.
- Said, I., Jalaluddin, M. N., Upe, A., dan Wahab, A. W. 2009. *Penetapan Konsentrasi Logam Berat Krom dan Timbal dalam Sedimen Estuaria Sungai Matangpondo Palu*. Jurnal Chemica, 10 (2), hal 40-47.
- Shakoori, F. R., Tabassum, S., Rehman, A., dan Shakoori, A. R. 2010. *Isolation and Characterization of Cr⁶⁺ Reducing Bacteria and Their Potential Use in Bioremediation of Chromium Containing Wastewater*. Pakistan Journal of Zoology, 42 (6), hal 651-658.
- Shakoori, A. R., Makhdoom, M., dan Haq, R. U. 2000. *Hexavalent Chromium Reduction by A Dichromate-Resistant Gram-Positive Bacterium Isolated from Effluents of Tanneries*. Journal of Applied Microbiology and Biotechnology, 53 (3), hal 348-351.

- Srinath, T., Garg, S. K., dan Ramteke, P. W. 2002. *Chromium (VI) Accumulation by Bacillus circulans: Effect of Growth Conditions*. Indian Journal of Microbiology, 42 (2), hal 141-146.
- Sutono, S. dan Kurnia, U. 2013. *Identifikasi Kerusakan Lahan Sawah di Rancaekek Kabupaten Bandung, Jawa Barat*. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Ramah Lingkungan, hal 283-296.
- Trihadiningrum, Y. 2012. *Mikrobiologi Lingkungan*. Surabaya: ITS Press.
- Tukura, B. W., Usman, N. L., dan Mohammed, H. B. 2013. *Aqua Regia and Ethylenediaminetetracetic Acid (EDTA) Trace Metal Levels in Agricultural Soil*. Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 5 (11), hal 284-291.
- Vidali, M. 2001. *Bioremediation: An Overview*. Journal of Applied Chemistry, 73 (7), hal 1163-1172.
- Wedhastri, S. 2002. *Isolasi dan Seleksi Azotobacter sp. Penghasil Faktor Tumbuh dan Penambat Nitrogen dari Tanah Masam*. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan, 3 (1), hal 45-51.
- Zarkasyi, H. 2008. *Biosorpsi Logam Merkuri (Hg) oleh Bacillus megaterium Asal Hilir Sungai Cisadane*. Skripsi Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Zayed, A. dan Terry, N. 2003. *Chromium in The Environment: Factors Affecting Biological Remediation*. Review Journal of Plant and Soil. 249 (1), hal 139-156.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 1 Peremajaan Isolat Bakteri

Menurut Machmud (2001), beberapa tahapan yang dilakukan pada peremajaan isolat bakteri, antara lain:

1. Bakteri induk, media NA, dan semua peralatan yang dibutuhkan disiapkan sebelum proses peremajaan bakteri.
2. Jarum ose yang akan digunakan, dipanaskan sampai membara dengan api Bunsen, kemudian diangin-anginkan.
3. Penutup tabung reaksi berisi bakteri induk dibuka dan mulut tabung dilewatkan api sebanyak 2-3 kali.
4. Bakteri induk diambil sebanyak satu ose dengan cara menggoreskan ose pada permukaan agar bakteri induk.
5. Mulut tabung reaksi bakteri induk dilewatkan api sebanyak 2-3 kali, kemudian ditutup dengan kapas lemak.
6. Penutup tabung reaksi media agar miring NA dibuka dan mulut tabungnya dilewatkan api Bunsen sebanyak 2-3 kali.
7. Jarum ose yang telah mengandung bakteri digoreskan pada permukaan media agar miring NA dengan cara zig-zag mulai dari bagian dasar tabung.
8. Mulut tabung reaksi media agar miring NA yang telah berisi bakteri dilewatkan api Bunsen sebanyak 2-3 kali, kemudian ditutup kapas lemak.
9. Jarum ose yang telah dipakai, dipanaskan sampai membara untuk membunuh bakteri yang menempel pada ose.
10. Tabung reaksi agar miring NA yang telah berisi bakteri diinkubasi dalam inkubator selama 24 jam dengan suhu sekitar 37°C.
11. Setelah 24 jam, bakteri dapat digunakan untuk penelitian.
12. Perlakuan 1-8 harus dilakukan secara aseptik, yaitu berada di dekat api (maksimum berjarak 20 cm dari api) agar tidak terjadi kontaminasi.

Lampiran 2 Penyiapan Reaktor Uji Penyisihan Logam Kromium

Beberapa tahapan yang dilakukan pada penyiapan reaktor uji penyisihan logam kromium, antara lain:

1. Penyiapan bakteri untuk uji penyisihan logam kromium
 - a. Bakteri berumur 24 jam pada media agar datar NA diambil sebanyak 2 ose.
 - b. Bakteri pada ose dipindahkan ke dalam labu Erlenmeyer volume 250 mL yang berisi media NB sebanyak 100 mL (Deepali, 2011).
 - c. Jika bakteri masih terlihat menggumpal, dilakukan pengadukan secara manual dengan cara menggoyangkan labu Erlenmeyer.
 - d. Labu Erlenmeyer yang berisi bakteri ditempatkan di *shaker* selama 24 jam dengan kecepatan 150 rpm.
 - e. Setelah 24 jam, media NB berisi bakteri diambil sebanyak 100 mL dan dimasukkan ke dalam tabung *centrifuge*.
 - f. Dilakukan proses sentrifugasi selama 10 menit dengan putaran sebanyak 4000 rpm (Purwanti et al., 2015)
 - g. Supernatan yang tidak mengandung bakteri dibuang dari tabung *centrifuge*.
 - h. Pencucian bakteri dari media dalam tabung *centrifuge* dilakukan 2 kali dengan menambahkan air salin 8,5% (NaCl) steril.
 - i. Hasil pencucian yang berupa endapan bakteri dipindahkan dalam labu Erlenmeyer steril dan ditambah air salin sampai volume yang dibutuhkan.
 - j. Nilai absorbansi bakteri diukur dengan spektrofotometer panjang gelombang 600 nm.
 - k. Dilakukan *trial and error* absorbansi dengan menambahkan air salin pada bakteri hingga didapatkan nilai absorbansi sebesar 0,5 A (Purwanti et al., 2015).
2. Tanah pasir ditimbang dengan neraca sebanyak ± 425 gram, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor uji yang berupa toples kaca.
3. Larutan stok kromium diencerkan sesuai dengan konsentrasi pada Tabel 3.1.

4. Larutan kromium dengan konsentrasi yang telah ditentukan, dimasukkan ke dalam reaktor uji sesuai dengan nilai *bulk density* tanah pasir.
5. Bakteri yang telah memiliki nilai OD 0,5 A ditambahkan ke dalam reaktor uji sesuai dengan Tabel 3.1.
6. Uji penyisihan kromium dilakukan selama 14 hari dengan proses pengadukan tanah sehari sekali.

Lampiran 3 Ekstraksi Pencemar Inorganik dalam Media Tanah

Menurut Tukura et al. (2013), beberapa tahapan yang dilakukan pada ekstraksi zat pencemar inorganik dalam media tanah, antara lain:

1. Penyiapan larutan *aqua regia*
 - a. Disiapkan larutan HCl 37% atau 11,96 M sebanyak 1000 mL
 - b. Disiapkan larutan HNO₃ 70% atau 16,52 M sebanyak 1000 mL
 - c. Larutan HCl 37% dan HNO₃ 70% dicampur dengan perbandingan dalam v/v sebesar 3:1. Dalam 1000 mL larutan *aqua regia* terdapat 750 mL larutan HCl dan 250 mL larutan HNO₃.
 - d. Larutan *aqua regia* siap digunakan untuk ekstraksi zat inorganik.
2. Tanah tercemar kromium diambil sebanyak 1 gram dengan spatula dan dimasukkan gelas beker.
3. Ditambahkan larutan *aqua regia* ke dalam gelas beker sebanyak 28 mL.
4. Campuran sampel tanah tercemar dan larutan *aqua regia* didiamkan selama 24 jam.
5. Campuran sampel tanah tercemar dan larutan *aqua regia* dipanaskan dengan kompor listrik bersuhu 140°C sampai hampir kering.
6. Ditambahkan aquades sampai volume larutan 20 mL, kemudian sampel disaring dengan kertas saring.
7. Larutan hasil proses penyaringan diencerkan dengan aquades sampai volume 50 mL menggunakan labu ukur.
8. Larutan hasil proses ekstraksi siap untuk dianalisis konsentrasi total kromiumnya dengan menggunakan metode AAS.

Lampiran 4 Uji Jumlah Koloni Bakteri

Beberapa tahapan yang dilakukan pada uji jumlah koloni bakteri dengan metode CFU, antara lain:

1. Tanah tercemar berisi bakteri, media NA, air salin, dan peralatan yang dibutuhkan disiapkan sebelum uji jumlah koloni bakteri.
2. Tanah tercemar dari reaktor uji diambil sebanyak 10 gram dengan spatula.
3. Tanah tercemar dari reaktor uji dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer dan ditambah air salin sampai volume 100 mL.
4. Labu Erlenmeyer berisi air salin dan tanah tercemar ditempatkan di *shaker* selama 1 jam dengan kecepatan 150 rpm.
5. Air salin berisi bakteri di labu Erlenmeyer diambil sebanyak 1 mL dengan pipet ukur steril.
6. Air salin berisi bakteri sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi air salin.
7. Tabung reaksi berisi air salin dan bakteri dikocok hingga homogen.
8. Dilakukan pengenceran berulang pada air salin berisi bakteri seperti pada tahap 5-7 sebanyak 5-7 kali.
9. Cawan petri disterilkan dengan melewati bagian tepi cawan pada api sebanyak 2-3 kali.
10. Air salin berisi bakteri pada 3 pengenceran terakhir dimasukkan ke dalam cawan petri sebanyak 0,1 mL dengan pipet ukur steril.
11. Agar cair NA dimasukkan ke dalam cawan petri berisi bakteri, kemudian diratakan dan ditunggu sampai agar NA memadat.
12. Setelah agar NA memadat, bagian tepi cawan dilewatkan api Bunsen sebanyak 2-3 kali.
13. Cawan petri dibungkus kertas coklat dan direkatkan dengan karet gelang.
14. Cawan petri berisi bakteri diinkubasi dalam inkubator selama 24 jam dengan suhu sekitar 37°C.
15. Setelah 24 jam, dilakukan pengamatan jumlah koloni bakteri yang muncul pada media agar NA.
16. Perlakuan 3-12 harus dilakukan secara aseptik, yaitu berada di dekat api (maksimum berjarak 20 cm dari api) agar tidak terjadi kontaminasi.

Lampiran 5 Hasil Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan

Tabel L. 1 Hasil Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan

Reaktor	Jam ke-0	Jam ke-24	% Perubahan	Keterangan
KP	8,10	9,04	11,6	Reaktor kontrol (pasir tanpa larutan kromium)
A0	6,56	7,05	7,4	Penambahan bakteri 0% v/v bulk density pasir
A5	7,02	7,60	8,4	Penambahan bakteri 5% v/v bulk density pasir
A10	8,10	8,75	8,0	Penambahan bakteri 10% v/v bulk density pasir
A15	8,54	9,11	6,7	Penambahan bakteri 15% v/v bulk density pasir

Contoh perhitungan jumlah koloni bakteri:

- Jumlah koloni yang teramati di cawan= 51 koloni
- Pengenceran = 10^{-7}
- Jumlah koloni bakteri (n)

$$n = \frac{\text{jumlah koloni teramati}}{\text{volume sampel}} \times \frac{1}{\text{angka pengenceran}}$$

$$= \frac{51 \text{ koloni}}{0,1 \text{ mL}} \times \frac{1}{10^{-6}} = 51 \times 10^7 \text{ koloni/mL}$$
- Jumlah koloni bakteri per gram tanah (N)

$$N = \text{jumlah koloni bakteri per mL} \times \frac{\text{volume reaktor}}{\text{massa sampel tanah}}$$

$$= 51 \times 10^7 \text{ koloni/mL} \times \frac{100 \text{ mL}}{10 \text{ gram}}$$



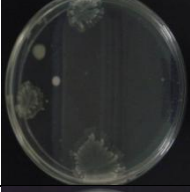

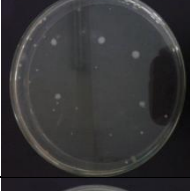
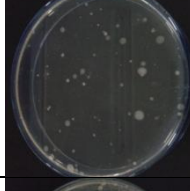
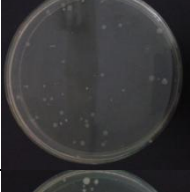
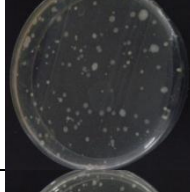


$$= 51 \times 10^8 \text{ koloni/gram tanah}$$
- Log CFU = Log (jumlah koloni bakteri per gram tanah)

$$= \text{Log } (51 \times 10^8 \text{ koloni/gram tanah})$$








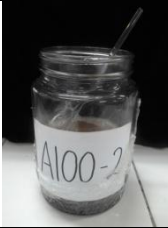
$$= 9,71$$

Lampiran 6 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan

Tabel L. 2 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Pendahuluan

Reaktor Uji	Hasil Pengamatan CFU		Keterangan
	Jam ke-0	Jam ke-24	
KP			Reaktor kontrol (pasir tanpa larutan kromium)
A0			Penambahan bakteri 0% v/v bulk density pasir
A5			Penambahan bakteri 5% v/v bulk density pasir
A10			Penambahan bakteri 10% v/v bulk density pasir
A15			Penambahan bakteri 15% v/v bulk density pasir

Lampiran 7 Reaktor Uji Penyisihan Logam Kromium

			
Kontrol 1	50P	75P	100P
			
Kontrol 2	50A	75A	100A

Keterangan:

Reaktor K = Reaktor P = Reaktor dengan penambahan 0% bakteri *Azotobacter*

Reaktor A = Reaktor dengan penambahan 15% v/v bakteri *Azotobacter*

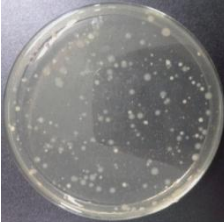

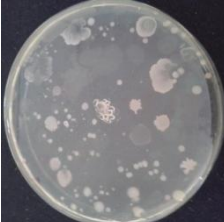
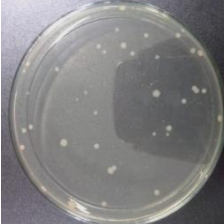
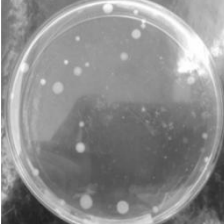
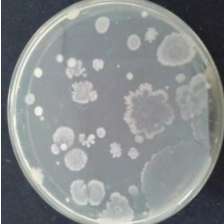
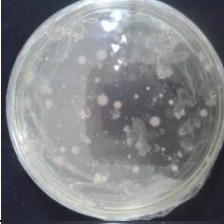
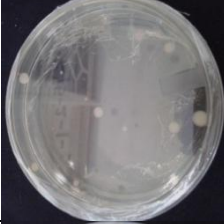



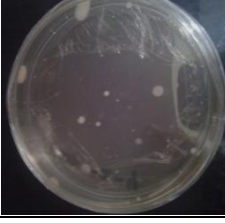
Kontrol 1 = K0-1 = Reaktor tanpa penambahan bakteri *Azotobacter* dan tanpa kromium

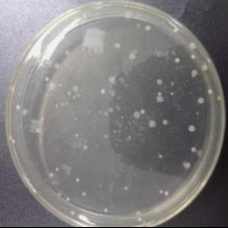
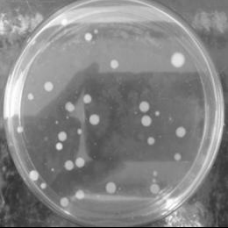
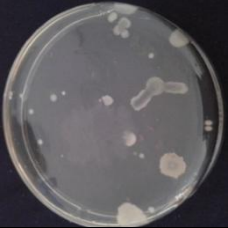

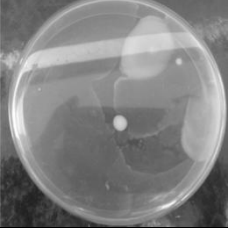

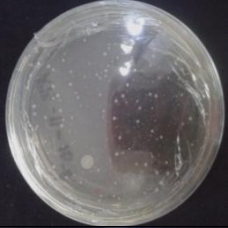
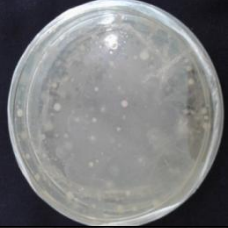
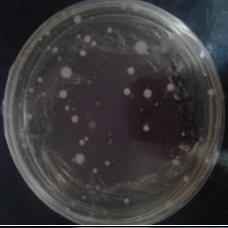
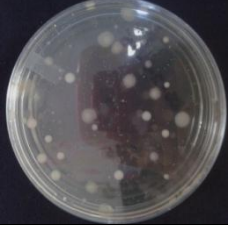
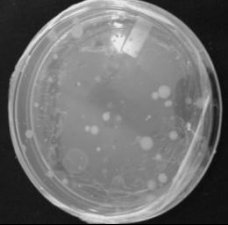

Kontrol 2 = A0-2 = Reaktor dengan penambahan bakteri *Azotobacter* 15% dan tanpa kromium

Konsentrasi larutan kromium yang ditambahkan dalam mg/L adalah 50, 75, dan 100

Lampiran 8 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Penyisihan Logam Kromium

Tabel L. 3 Hasil Pengamatan Jumlah Koloni Bakteri Uji Penyisihan Logam Kromium

Reaktor Uji	Hasil Pengamatan CFU		
	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 0%			
Kontrol 1			
50P			
75P			
100P			

Reaktor Uji	Hasil Pengamatan CFU		
	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 15%			
Kontrol 2			
50A			
75A			
100A			

Lampiran 9 Hasil Analisis Total Kromium

1. Hasil Analisis Total Kromium Awal



JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI
 KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN KETERANGAN HASIL ANALISA

No.31A/LTAKI/XI/2016

Terima dari : **Bapk Edy**
 Jur.T.Lingkungan FTSP- ITS
 Surabaya
 Jenis contoh : Air
 U.analisa : Cr
 Diterima tgl. : 2 Nopember 2016

Parameter	Hasil analisa	Methode analisa
	Cr ,mg/l	
1	0,38	Cr (AAS)
2	0,43	
3	0,45	
4	0,55	
5	0,47	
6	0,44	
7	0,46	
8	0,88	
9	0,34	
10	0,45	
11	0,43	
12	0,54	
13	0,60	
14	0,54	
15	0,49	
16	0,41	
17	0,32	
18	0,34	
19	0,44	
20	0,63	
21	0,62	
22	0,64	
23	0,77	
24	0,69	

Keterangan :
 • Data tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



Dr. **Pratiwi Kusumadewi**
 Kepala Laboratorium TAKI

No Sampel	1	2	3	4	5	6	7	8
Reaktor	K1 a	K1 b	50P a	50P b	K2 a	K2 b	50A a	50A b
No Sampel	13	14	15	16	17	18	19	20
Reaktor	75P a	75P b	100P a	100P b	75A a	75A b	100A a	100A b

2. Hasil Analisis Total Kromium Akhir



JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.32/L.TAKI/XI/2016

Terima dari : **Bapk Edy**
Jur.T.Lingkungan FTSP- ITS
Surabaya
Jenis contoh : Air
U.analisa : Cr
Diterima tgl. : 8 Nopember 2016

Kode contoh	Hasil analisa	Methode analisa
	Cr .mg/l	
25	0,74	Cr (AAS)
26	0,58	
27	0,67	
28	0,97	
29	0,52	
30	0,30	
31	0,54	
32	0,83	
33	0,48	
34	0,44	
35	0,92	
36	0,53	
37	0,67	
38	0,77	
39	0,68	
40	0,84	
41	0,93	
42	0,98	
43	0,80	
44	0,64	
45	0,87	
46	0,65	
47	0,70	
48	0,85	

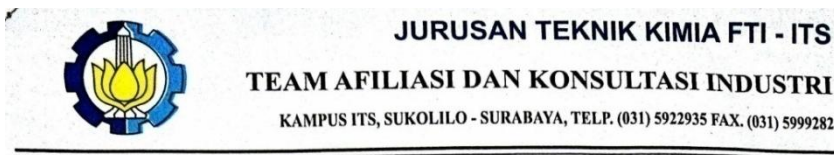
Keterangan :
♦ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

Surabaya, 8 Nopember 2016



No Sampel	25	26	27	28	29	30	31	32
Reaktor	K1 a	K1 b	50P a	50P b	K2 a	K2 b	50A a	50A b
No Sampel	37	38	39	40	41	42	43	44
Reaktor	75P a	75P b	100P a	100P b	75A a	75A b	100A a	100A b

3. Hasil Pengulangan Analisis Total Kromium



KETERANGAN HASIL ANALISA

No.17A /LTAKI/XII/2016

Terima dari : **BapK Edy**
Jur.T.Lingkungan FTSP- ITS
Surabaya
Jenis contoh : Air
U.analisa : Cr
Diterima tgl. : 8 Desember 2016

Kode contoh	Hasil analisa	Kode contoh	Hasil analisa
	Cr ,mg/l		Cr ,mg/l
1	0,31	13	0,36
2	0,49	14	0,71
3	0,64	15	0,74
4	0,65	16	0,90
5	0,44	17	0,61
6	0,62	18	0,70
7	0,69	19	0,71
8	0,83	20	0,93
9	0,54	21	0,51
10	0,70	22	0,56
11	0,79	23	0,74
12	0,98	24	0,75

Keterangan :

- Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



No Sampel	1	2	3	4	5	6	7	8
Analisis Cr Akhir	K1	50P	75P	100P	K2	50A	75A	100A
No Sampel	13	14	15	16	17	18	19	20
Analisis Cr Awal	K1	50P	75P	100P	K2	50A	75A	100A

Lampiran 10 Data Hasil Penelitian

1. Nilai pH Tanah Reaktor Uji

Tabel L. 4 Hasil Analisis pH Tanah Reaktor Uji

Reaktor	Hari ke-								
	0	2	4	6	7	8	10	12	14
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 0%									
Kontrol 1	6,0	6,4	5,8	5,9	5,9	6,4	6,4	6,7	6,0
50P	6,2	6,6	6,4	6,6	6,7	6,6	6,7	6,9	6,6
75P	6,7	6,8	6,8	6,7	6,6	6,6	6,8	6,6	6,8
100P	6,7	6,7	6,7	6,7	6,8	6,8	6,8	6,6	6,7
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 15%									
Kontrol 2	5,4	5,3	5,3	5,5	5,1	6,6	6,7	6,6	6,0
50A	6,2	6,1	6,5	6,5	6,5	6,6	6,8	6,6	6,7
75A	6,6	6,8	6,8	6,7	6,5	6,5	6,6	6,4	6,5
100A	6,5	6,8	6,4	6,6	6,2	6,2	6,7	6,2	6,6

2. Suhu Tanah Reaktor Uji

Tabel L. 5 Hasil Analisis Suhu Tanah Reaktor Uji

Reaktor	Hari ke-								
	0	2	4	6	7	8	10	12	14
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 0%									
Kontrol 1	31	29	30	29	29	29	28	29	29
50P	30	29	29	29	29	29	28	29	29
75P	29	28	28	28	29	29	28	28	27
100P	29	28	28	28	29	29	28	27	27
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 15%									
Kontrol 2	31	30	29	29	28	28	28	29	29
50A	31	29	29	29	28	28	28	29	29
75A	29	28	28	28	29	29	28	27	27
100A	29	28	28	28	29	29	28	28	27

3. Kelembaban Tanah Reaktor Uji

Tabel L. 6 Hasil Analisis Kelembaban Tanah Reaktor Uji

Reaktor	Hari ke-								
	0	2	4	6	7	8	10	12	14
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 0%									
Kontrol 1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
50P	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
75P	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
100P	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 15%									
Kontrol 2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
50A	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
75A	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
100A	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

4. Jumlah Koloni Bakteri Reaktor Uji

Tabel L. 7 Hasil Analisis Jumlah Koloni Bakteri Reaktor Uji

Reaktor	Hari ke-		
	0	7	14
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 0%			
Kontrol 1	13,89	12,88	11,73
50P	13,25	11,11	10,56
75P	12,63	10,11	9,91
100P	11,77	10,13	9,01
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 15%			
Kontrol 2	13,67	13,12	10,23
50A	13,65	9,93	9,35
75A	13,29	9,62	9,39
100A	12,77	9,39	9,27

5. Konsentrasi Total Kromium Reaktor Uji

Tabel L. 8 Hasil Analisis Konsentrasi Total Kromium Reaktor Uji

Reaktor	Konsentrasi Penambahan Larutan Cr		Hasil Analisis Laboratorium (mg/L)		Konsentrasi Kromium (mg/kg tanah tercemar *)		% Penyisihan
	mg/L	mg/kg	Hari ke-0	Hari ke-14	Hari ke-0	Hari ke-14	
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 0%							
Kontrol 1	0	0	0,43	0,31	21,50	15,39	28,42
50P	50	19	0,71	0,49	35,50	24,50	30,99
75P	75	29	0,74	0,64	36,82	31,93	13,26
100P	100	38	0,90	0,84	45,02	42,00	6,71
Penambahan Bakteri <i>Azotobacter</i> 15%							
Kontrol 2	0	0	0,44	0,44	22,00	21,68	1,47
50A	50	19	0,70	0,54	34,98	27,00	22,82
75A	75	29	0,71	0,69	35,37	33,85	4,29
100A	100	38	0,93	0,83	46,55	41,39	11,08

*) Hasil Perhitungan

6. Contoh Perhitungan Beban Pencemar Kromium

- Massa tanah terekstraksi = 1 gram
- Volume sampel hasil ekstraksi = 50 mL
- Konsentrasi larutan hasil ekstraksi = 0,54 mg/L
- Beban pencemar kromium =
$$\frac{\text{konsentrasi Cr} \times \text{volume larutan}}{\text{massa tanah}}$$
$$= \frac{0,54 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ gram}} = 27 \text{ mg/kg}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Nalurika Muji Rahayu lahir di Tulungagung pada tanggal 19 Desember 1994. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2001-2006 di SDN Ketanon II Kedungwaru. Kemudian dilanjutkan di SMPN 2 Tulungagung pada tahun 2006-2009. Adapun pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 1 Kauman Tulungagung pada tahun 2009-2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan

Perencanaan, ITS, Surabaya pada Tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3313 100 048.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan HMTL dan aktif sebagai asisten praktikum Kimia Lingkungan I dan Mikrobiologi Lingkungan. Semasa kuliah, penulis terdaftar sebagai pengurus aktif Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS, Surabaya. Penulis menjabat sebagai Bendahara 2 HMTL periode kepengurusan 2014-2015 dan sebagai Bendahara 1 HMTL pada periode kepengurusan 2015-2016. Selain itu penulis juga pernah berpartisipasi dalam Program Kreativitas Mahasiswa PKM bidang Penelitian (PKMP) yang mengangkat tema pirolisis sampah dan tercatat sebagai kelompok terdantai DIKTI. Berbagai pelatihan serta seminar di bidang teknik lingkungan juga telah diikuti dalam rangka pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email nalurika.xia4.18@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)